



**TUGAS AKHIR -TF 091381**

**SIMULASI PEREDAMAN GETARAN MEKANIS MESIN  
SENTRIFUGAL DENGAN SISTEM *DUAL DYNAMIC  
VIBRATION ABSORBER (DUAL DVA)***

**PUTRI AMARILLI MAHENDRADEWI  
NRP. 2412105 002**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Yerri Susatio, MT.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**FINAL PROJECT-TF 091381**

# **SIMULATION OF CENTRIFUGAL MACHINE VIBRATION DAMPING USING DUAL DYNAMIC VIBRATION ABSORBER SYSTEM (DUAL DVA)**

**PUTRI AMARILLI MAHENDRADEWI  
NRP. 2412 105 002**

**Supervisor  
Ir. Yerri Susatio, MT.**

**DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Engineering (FTI)  
Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS)  
Surabaya 2014**

**SIMULASI PEREDAMAN GETARAN MEKANIS MESIN  
SENTRIFUGAL DENGAN SISTEM *DUAL DYNAMIC*  
*VIBRATION ABSORBER (DUAL DVA)***

**TUGAS AKHIR**

Oleh :  
**PUTRI AMARILLI MAHENDRADEWI**  
NRP. 2412 105 002

Surabaya, 8 Agustus 2014  
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing,



Ir. Yerri Susatio, M.T.  
NIPN. 19541017 198003 1 005

Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI – ITS,



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  
NIPN. 19650309 1990021 001

**SIMULASI PEREDAMAN GETARAN MEKANIS MESIN  
SENTRIFUGAL DENGAN SISTEM *DUAL DYNAMIC  
VIBRATION ABSORBER (DUAL DVA)***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana  
pada**

**Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan  
Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**PUTRI AMARILLI MAHENDRADEWI**

**NRP. 2412 105 002**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

1. Ir. Yerri Susatio, M.T. .... (Pembimbing)
2. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. .... (Ketua Tim Penguji)
3. Ir. Heri Joestiono, M.T. .... (Penguji I)
4. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. .... (Penguji II)
5. Nurlaila Hamidah, S.T., M.T. .... (Penguji III)

**SURABAYA  
Agustus, 2014**

**SIMULASI PEREDAMAN GETARAN MEKANIS MESIN  
SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN SISTEM *DUAL DYNAMIC  
VIBRATION ABSORBER (DUAL DVA)***

**Nama** : Putri Amarilli Mahendradewi  
**NRP** : 2412.105.002  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Ir. Yerri Susatio, MT.

**ABSTRAK**

*Getaran yang dihasilkan mesin sentrifugal merupakan akibat dari adanya gangguan yang terjadi pada mesin dimana getaran yang terjadi dapat merambat sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur mesin sentrifugal. Telah dilakukan penelitian mengenai simulasi peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal mengenai penentuan nilai parameter Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA) yang terbaik untuk mereduksi getaran yang terjadi serta penentuan respon perpindahan (displacement). Pendekatan analisis penentuan parameter yang digunakan adalah metode state space sebagai fungsi ruang keadaan sebagai pemodelan secara matematis dengan penentuan nilai parameter massa, pegas dan damper menggunakan tehnik trial and error sebagai perbandingan peredaman terbaik sistem Single DVA dan Dual DVA. Nilai pegas dan damper sistem utama telah ditetapkan sebesar 35.000 N/m dan 2700 N.s/m (Yudhikarisma, 2013). Sehingga hasil simulasi perbandingan respon perpindahan (displacement) mesin sentrifugal menggunakan Single DVA yang terbaik adalah dengan penggunaan massa ( $M_1$ ) 783,845 kg, pegas ( $K_1$ ) 125.000 N/m, dan damper ( $C_1$ ) 2500 N.s/m yang mampu meredam amplitudo dari respon perpindahan (displacement) hingga 30,16%. Sedangkan peredaman menggunakan Sistem Dual DVA adalah dengan penggunaan massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) 391,923 kg, pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  65.000 N/m, damper  $C_{21}$  1250 N.s/m, serta damper  $C_{22}$  750 N.s/m yang mampu meredam amplitudo dari respon perpindahan (displacement) hingga 30,96%.*

*Kata Kunci : Mesin Sentrifugal, State Space, Dual DVA*

# **SIMULATION OF CENTRIFUGAL MACHINE VIBRATION DAMPING USING DUAL DYNAMIC VIBRATION ABSORBER SYSTEM (DUAL DVA)**

**Name** : Putri Amarilli Mahendradewi  
**NRP** : 2412.105.002  
**Program Study** : S1 Physics Engineering  
**Department** : Physics Engineering FTI-ITS  
**Supervisor I** : Ir. Yerri Susatio, MT.

## **ABSTRACT**

*Vibration generated centrifugal machine is the result of a disturbance that occurred on the machine where the vibration that occurs can propagate causing structural damage to the centrifuges. Has conducted research on the simulation of mechanical vibration damping centrifuges regarding the determination of the value of the parameter Dynamic Vibration Absorber Dual (Dual DVA) is the best to reduce the vibrations that occur as well as the determination of the displacement response (displacement). Approach to the determination of the parameters of analysis is the method of state space as a function of the state space as mathematical modeling to determine the parameter values of mass, spring and damper using the technique of trial and comparison errorsebagai best damping system and Dual Single DVA DVA. Value of the spring and damper system has been established primary sebesararr 35,000 N / m and 2700 Ns / m (Yudhikarisma, 2013). So that the displacement response comparison of the simulation results (displacement) using a centrifugal machine Single DVA is best to use the mass ( $M_1$ ) 783.845 kg, spring ( $K_1$ ) 125,000 N / m, and the damper ( $C_1$ ) 2500 Ns / m are able to reduce the amplitude of the response displacement (displacement) up to 30,16%. While DVA damping using Dual System is the use of the mass ( $M_{21} = M_{22}$ ) 391.923 kg, spring  $K_{21}$  and  $K_{22}$  spring 87,500 N / m,  $C_{21}$  damper 1250 Ns / m, and  $C_{22}$  damper 750 Ns / m are able to reduce the amplitude of the response displacement to 30,96%.*

*Keywords: Centrifugal Machine, State Space, Dual DVA*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah dan kasih sayang-Nya serta shalawat dan salam atas junjungan Nabi Muhammad SAW, atas terselesaikannya tugas akhir dengan judul

“SIMULASI PEREDAMAN GETARAN MEKANIS MESIN  
SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN SISTEM *DUAL  
DYNAMIC VIBRATION ABSORBER (DUAL DVA)*”

Sampai terselesaikannya tugas akhir ini, penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Untuk kesekian kalinya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Almarhum Papa yang telah tenang di sisi Allah SWT dan Mama tersayang yang senantiasa selalu mendoakan serta memberikan semangat kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Kakak tercinta Mahar Mahendra, yang selalu memberikan motivasi, doa, dan hiburan yang tiada henti kepada penulis.
3. Kekasihku, Ari Setyawan yang senantiasa mendoakan, memberikan saran, serta masukan-masukan demi kelancaran penyelesaian dari tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya.
5. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya.
6. Bapak Ir. Yerri Susatio, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, atas segala kerjasama, nasehat, serta bantuannya selama ini.
7. Bapak Dr. Dhany Arifianto ST, M.Eng selaku KBM dari Lab. Akustik dan Rekaya Bangunan yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Bapak Ir. Tutug Dhanardono, MT, Bapak Ir. Heri Joestiono, MT, Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT, dan Ibu Nur Laila Hamidah, M.Sc selaku tim dosen penguji yang telah

memberikan masukan untuk terselesaikannya laporan tugas ini agar menjadi lebih baik lagi.

9. Bapak/Ibu dosen yang telah menjadi media transfer ilmu sehingga kami dapat merampungkan jenjang perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
10. Ria, Bobby, Shinta, dan Robby yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini dari awal hingga akhir.
11. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur angkatan ganjil 2012 S1 Teknik Fisika yang telah banyak memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis.
12. Teman-teman Lab.Akustik dan Rekayasa Bangunan yang telah berjuang bersama dalam tugas akhir tahun ini.
13. Seluruh sahabatku atas segala waktu, kebersamaan, diskusi, dan bantuannya.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih banyak kekurangan baik menyangkut isi maupun bahasa yang digunakan sehingga tidak menutup kemungkinan bagi penulis untuk menerima kritik maupun saran yang membangun demi tersempurnakannya Laporan Tugas Akhir ini. Besar harapan kami semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 8 Agustus 2014

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Laporan	3
<b>II. TEORI PENUNJANG</b>	
2.1 Mesin Sentrifugal	5
2.2 Sistem dengan Peredam <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	5
2.3 Pemodelan Matematis Mesin Sentrifugal	8
2.4 Fungsi Keadaan <i>State Space</i>	9
<b>III. METODOLOGI PERANCANGAN</b>	
3.1 Spesifikasi Mesin Sentrifugal	12
3.2 Gaya Eksentrisitas Mesin Sentrifugal	12
3.3 Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	14
3.4 Mesin Sentrifugal dengan Sistem <i>Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)</i>	15
3.5 Mesin Sentrifugal dengan Sistem <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	17

#### **IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	21
4.2	Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Menggunakan Sistem <i>Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)</i>	24
4.3	Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Menggunakan Sistem <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	40

#### **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Momen Gaya Inersia pada Mesin Sentrifugal	5
<b>Gambar 2.2</b>	Sistem dengan <i>Dynamic Vibration Absorber</i>	6
<b>Gambar 2.3</b>	Sistem dengan <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	7
<b>Gambar 2.4</b>	Pemodelan Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	8
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Perancangan	11
<b>Gambar 3.2</b>	Pemodelan Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	15
<b>Gambar 3.3</b>	Pemodelan Mesin Sentrifugal dengan Sistem <i>Single Dynamic Vibration Absorber</i>	16
<b>Gambar 3.4</b>	Pemodelan Mesin Sentrifugal dengan Sistem <i>Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)</i>	18
<b>Gambar 4.1</b>	Respon <i>Displacement</i> Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	22
<b>Gambar 4.2</b>	Respon Kecepatan Mesin Sentrifugal Tanpa <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	23
<b>Gambar 4.3</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> pada Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i>	26
<b>Gambar 4.4</b>	Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i>	28
<b>Gambar 4.5</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i> dengan Nilai $K_1 = 10.000 \text{ N/m}$ hingga $K_1 = 80.000 \text{ N/m}$	30
<b>Gambar 4.6</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i> dengan Nilai $K_1 = 82.500 \text{ N/m}$ hingga $K_1 = 125.000 \text{ N/m}$	31
<b>Gambar 4.7</b>	Respon Perbandingan Kecepatan Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i> dengan Nilai $K_1 = 10.000 \text{ N/m}$ hingga $K_1 = 80.000 \text{ N/m}$	33

<b>Gambar 4.8</b>	Respon Perbandingan Kecepatan Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i> dengan Nilai $K_1=82.500$ N/m hingga $K_1= 25.000$ N/m	34
<b>Gambar 4.9</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Variasi Damper ( $C_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i>	36
<b>Gambar 4.10</b>	Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Damper ( $C_1$ ) pada Sistem <i>Single DVA</i>	38
<b>Gambar 4.11</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 1 pada Sistem <i>Dual DVA</i>	41
<b>Gambar 4.12</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 2 pada Sistem <i>Dual DVA</i>	42
<b>Gambar 4.13</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 3 pada Sistem <i>Dual DVA</i>	42
<b>Gambar 4.14</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i> pada Variasi Massa	44
<b>Gambar 4.15</b>	Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Massa Sistem <i>Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i>	46
<b>Gambar 4.16</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 1 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=10.000$ N/m hingga $K_1=80.000$ N/m	48
<b>Gambar 4.17</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 1 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=82.500$ N/m hingga $K_1=125.000$ N/m	49
<b>Gambar 4.18</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 2 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=10.000$ N/m hingga $K_1=80.000$ N/m	50

<b>Gambar 4.19</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 2 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=82.500$ N/m hingga $K_1=125.000$ N/m	52
<b>Gambar 4.20</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 3 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=10.000$ N/m hingga $K_1=80.000$ N/m	52
<b>Gambar 4.21</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 3 Variasi Pegas pada Sistem <i>Dual DVA</i> dengan Nilai $K_1=10.000$ N/m hingga $K_1=80.000$ N/m	52 53
<b>Gambar 4.22</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i> pada Variasi Pegas	55
<b>Gambar 4.23</b>	Respon Perbandingan Kecepatan <i>Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i> pada Variasi Pegas	
<b>Gambar 4.24</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 1 Variasi Damper pada Sistem <i>Dual DVA</i>	58
<b>Gambar 4.25</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 2 Variasi Damper pada Sistem <i>Dual DVA</i>	58
<b>Gambar 4.26</b>	Respon Perbandingan <i>Displacement</i> pada Variasi Damper Sistem <i>Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i>	60 61
<b>Gambar 4.27</b>	Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Damper Sistem <i>Single DVA</i> dan <i>Dual DVA</i>	



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Nilai Parameter pada Sistem Primer	22
<b>Tabel 4.2</b> Variasi Massa ( $M_1$ ) Sistem <i>Single DVA</i>	25
<b>Tabel 4.3</b> Variasi Pegas ( $K_1$ ) Sistem <i>Single DVA</i>	30
<b>Tabel 4.4</b> Variasi Damper ( $C_1$ ) Sistem <i>Single DVA</i>	36
<b>Tabel 4.5</b> Parameter dan Persentase Redaman Terbaik pada Sistem <i>Single DVA</i>	39
<b>Tabel 4.6</b> Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) Sistem <i>Dual DVA</i>	38
<b>Tabel 4.7</b> Variasi Damper ( $C_{21}$ dan $C_{22}$ ) Sistem <i>Dual DVA</i>	47
<b>Tabel 4.8</b> Parameter dan Persentase Redaman Terbaik pada Sistem <i>Dual DVA</i>	63

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Getaran mekanik yang dihasilkan oleh suatu mesin sentrifugal secara terus menerus suatu saat akan mengalami kerusakan akibat adanya beban dari dalam mesin sentrifugal itu sendiri. Kerusakan yang terjadi dapat dialami secara periodik dengan timbulnya getaran yang semakin lama semakin berlebihan dan merupakan akibat dari adanya gangguan yang terjadi pada mesin tersebut seperti ketidakseimbangan pada elemen yang berputar dari dalam mesin sehingga menyebabkan pembebanan pada bagian mesin sentrifugal tidak hanya pada bagian struktur dari mesin itu sendiri melainkan dapat merambat pada area disekitarnya seperti pada bagian pondasi penyangga sebagai penopang pembebanan dari besar getaran yang diterima oleh mesin sentrifugal. Dan apabila hal ini terjadi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur mesin sentrifugal. Untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih jauh maka dibutuhkan peredaman amplitudo yang dihasilkan oleh mesin sentrifugal dengan cara meminimalisir respon perpindahan (*displacement*).

*Dynamic Vibration Absorber (DVA)* adalah sebuah peredam yang secara bersamaan bergerak dengan sistem utama yang terdiri dari massa, pegas, dan damper tambahan yang digunakan untuk meredam getaran yang ada pada sistem utama. Penggunaan sebuah DVA(*Single DVA*) memiliki kekurangan dimana dalam peredaman getaran mekanis pada sistem utama suatu mesin sehingga dibutuhkan sistem peredam getaran yang efektif dan lebih baik lagi. Pada tugas akhir dengan judul “Simulasi Peredaman Getaran Mesin Sentrifugal dengan *Sistem Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*” akan membawa permasalahan kekurangan dari pemasangan sebuah *Single DVA* dengan menambahkan sebuah DVA kembali sehingga menjadi dua buah DVA (*Dual DVA*) kedalam bentuk simulasi sehingga dapat memudahkan pencarian solusi permasalahan peredaman getaran mesin sentrifugal tersebut menggunakan



*software* Mathcad 14.0. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa dengan menggunakan sistem dual dinamik absorber pada mesin sentrifugal guna mereduksi getaran yang terjadi.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara menentukan nilai parameter *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* yang terbaik untuk mereduksi getaran yang terjadi pada mesin sentrifugal.
2. Bagaimana cara menentukan respon perpindahan (*displacement*) dari benda yang akan diredam getarannya.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menentukan nilai parameter *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* yang terbaik untuk mereduksi getaran yang terjadi pada mesin sentrifugal dan dapat menentukan respon perpindahan (*displacement*) dari benda yang akan diredam getarannya.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir kali ini adalah:

1. Getaran mesin yang dideteksi hanya dalam arah vertikal, sedangkan getaran mesin dalam arah horizontal diabaikan.
2. Variasi massa pada sistem *Dual DVA* diasumsikan sama yaitu ( $M_{21} = M_{22}$ ) dan massa pada *Dual DVA* merupakan setengah dari massa sistem *Single DVA* ( $M_{21} = M_{22} = \frac{1}{2} M_1$ ).
3. Mesin sentrifugal yang digunakan adalah Mitsubishi S6K dengan berat mesin 1567,69 kg dan berat rotor 337 kg yang dapat beroperasi pada kecepatan 1500 rpm berfrekuensi 50/60 Hz. (Wibowo, 2011).
4. Peredaman getaran mekanis hanya ditinjau dari besarnya penurunan amplitudo *overshoot* respon *displacement*.

## 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan ini adalah :

BAB I : Pendahuluan yang berisi penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, dan sistematika laporan.

BAB II : Teori Penunjang yang berisi mengenai materi mesin sentrifugal, Sistem dengan peredam *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*, Pemodelan matematis sistem mesin sentrifugal dan fungsi ruang keadaan (*state space*).

BAB III : Metodologi Perancangan yang berisi mengenai perancangan sistem mesin sentrifugal, data mesin, perancangan sistem mesin sentrifugal tanpa *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* dan perancangan sistem mesin sentrifugal dengan tambahan sistem *Dual DVA*.

BAB IV : Analisa Data dan Pembahasan yang berisi mengenai analisa dan pembahasan dari data yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB V : Kesimpulan dan Saran yang berisi mengenai kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang menjawab rumusan masalah serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

*Halaman ini memang dikosongkan*

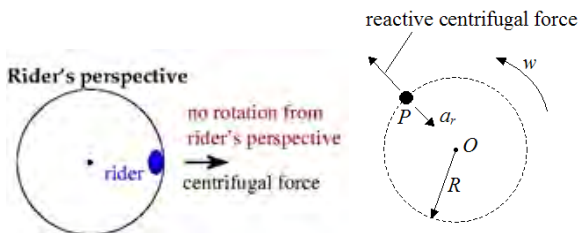
## BAB II

### TEORI PENUNJANG

Bab ini akan membahas mengenai teori-teori penunjang dalam penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya teori mengenai mesin sentrifugal, sistem dengan peredam *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*, pemodelan matematis sistem mesin sentrifugal, dan fungsi keadaan *state space*.

#### 2.1 Mesin Sentrifugal

Mesin sentrifugal merupakan mesin yang menerapkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh perputaran *impeller* didalam perputaran yang mewakili tekanan keluar yang terdapat disekitar obyek yang berputar di sebuah titik pusat. Mesin sentrifugal bekerja sama halnya seperti mesin rotasi yang menerapkan Hukum I Newton yang mana memiliki momen gaya inersia sebagai penyebab berputarnya suatu benda dan cenderung untuk tetap mempertahankan gerak rotasinya.

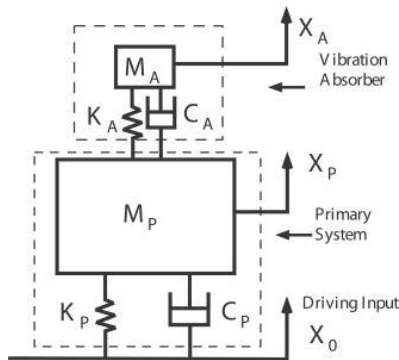


**Gambar 2.1** Momen Gaya Inersia pada Mesin Sentrifugal

#### 2.2 Sistem dengan Peredam *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*

*Dynamic Vibration Absorber (DVA)* merupakan suatu perangkat mekanis yang digunakan untuk mengurangi getaran

yang tidak diinginkan dalam suatu sistem dimana terdapat masaa utama dan massa penyerap getaran yang dipasang secara bersamaan sehingga memiliki dua derajat kebebasan (S. Rao, 1995). Pada *Dynamic Vibration Absorber* terdapat sistem utama yang disebut sistem primer, sedangkan peredam tambahan disebut sebagai sistem isolasi dimana pada setiap sistemnya terdapat beberapa parameter yang digunakan, yaitu  $M$  (massa),  $K$  (pegas), dan  $C$  (damper).



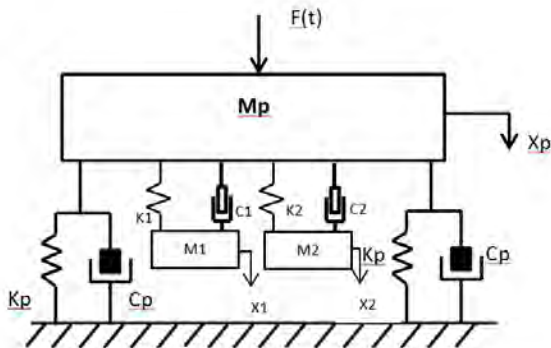
**Gambar 2.2** Sistem dengan *Dynamic Vibration Absorber*

Peredaman dengan *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* mampu meredam getaran atau mereduksi *displacement* pada suatu mesin rotasisebesar 16,6 % untuk *maximal overshoot* dan 65,5 % untuk *minimal overshoot* (Yudhikarisma, 2013) dengan parameter konstruksi penyangga  $K_1/2$  dan  $C_1/2$ . Hal ini masih dirasakan masih kurang dalam peredaman getaran pada sistem utama suatu mesin, sehingga dibutuhkan sistem peredam getaran yang efektif dan lebih baik lagi.

*Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* merupakan pengembangan dari sistem DVA yang dapat meredam getaran lebih cepat dan memiliki proses optimasi yang lebih cepat (Sun, H.L., 2007) dimana terdapat sebuah sistem primer dan dua

buah sistem isolasi peredaman getaran mekanis sehingga sistem memiliki tiga derajat kebebasan.

*Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* dapat diterapkan sebagai salah satu metode sistem peredaman getaran dikarenakan hampir memiliki performansi yang serupa dengan sistem peredam *State-Switched Absorber (SSA)*, (Sun,H.L., 2007) yaitu perangkat yang seketika dapat merubah kekakuan (*stiffnes*) diantara frekuensi resonansi dari suatu benda yang bergetar dengan penekanan elastis pada basis massa yang dipasangkan sebagai kinerja eksperimental (Holdhusen, 2005) dan mampu meredam lebih baik dibandingkan dengan sistem peredam *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*.



**Gambar 2.3** Sistem dengan *DualDynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*

Suatu derajat kebebasan dapat menunjukkan respon perpindahan (*displacement*) pada suatu sistem. Adapun pemodelan untuk persamaan model matematis dari sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* adalah sebagai berikut :

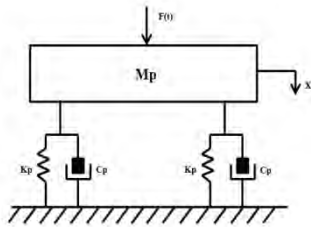
$$M_p \cdot \ddot{X}_p + 2C_p(\dot{X}_p - 0) + 2K_p(X_p - 0) + C_{21}(\dot{X}_p - \dot{X}_{21}) + K_{21}(X_p - X_{21}) + C_{22}(\dot{X}_p - \dot{X}_{22}) + K_{22}(X_p - X_{22}) = F(t) \dots (2.1)$$

$$M_{21} \cdot \ddot{X}_{21} + C_1 (\dot{X}_{21} - \dot{X}_p) + K_{21} (X_{21} - X_p) = 0 \quad \dots (2.2)$$

$$M_{22} \cdot \ddot{X}_{22} + C_{22} (\dot{X}_{22} - \dot{X}_p) + K_{22} (X_{22} - X_p) = 0 \quad \dots (2.3)$$

### 2.3 Pemodelan Matematis Mesin Sentrifugal

Pemodelan mesin sentrifugal memiliki sebuah massa, yakni massa mesin sentrifugal itu sendiri ( $M_1$ ) dimana gerak dari massa tersebut hanya dibatasi dalam arah horizontal (arah vertikal diabaikan) maka dibutuhkan satu buah koordinat untuk menentukan kedudukan massa pada berbagai waktu, yaitu  $X_p(t)$ .



**Gambar 2.4** Pemodelan Mesin Sentrifugal Tanpa *Dual DynamicVibration Absorber (Dual DVA)*

Dari Gambar 2.4 Persamaan model matematis dari mesin sentrifugal dengan satu derajat kebebasan adalah sebagai berikut :

$$M_p \cdot \ddot{X}_p + 2 \cdot C_p \cdot \dot{X}_p + 2 \cdot K_p \cdot X_p = F(t) \quad \dots (2.4)$$

Persamaan 2.4 merupakan penggambaran respon sistem utama dimana  $M_p$  merupakan massa primer (massa mesin sentrifugal) dan  $F(t)$  merupakan gaya pengganggu yang terdapat dari bagian dalam mesin sentrifugal itu sendiri. Pegas dan damper

( $K_p$  dan  $C_p$ ) pada sistem utama ini dibuat simetris agar sesuai dengan keadaan mesin sentrifugal Mitsubishi S6K.

## 2.4 Fungsi Keadaan *State Space*

Sistem dinamik memiliki elemen-elemen penyusun yang bersifat kesatuan dimana saling berpengaruh satu sama lain termasuk dalam strukturnya sehingga dapat digambarkan dalam suatu bentuk persamaan differensial menggunakan matriks vektor untuk beberapa variabel keadaan yang memungkinkan. Salah satu pendekatan secara differensial ini dapat digunakan metode *state space* untuk analisis pemodelan bentuk fisis dimana terdapat parameter penyusunan bentuk dari pemodelan yang digunakan, antara lain :

- Keadaan (*State*), yaitu keadaan penyusunan suatu sistem dinamik yang terdiri dari himpunan variabel yang dapat diketahui untuk mengetahui perilaku sistem untuk setiap waktu tertentu.
- Vektor keadaan, biasanya dinotasikan untuk  $n$  variabel (dimensi  $n$  koordinat dari suatu matriks) guna menggambarkan perilaku sistem yang diberikan pada setiap keadaan dan waktu tertentu.

Pemodelan *state space* secara linier untuk menentukan variabel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad \dots (2.5)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad \dots (2.6)$$

Dimana :

$\dot{x}(t)$  = matriks turunan terhadap waktu dari vektor  $x(t)$

$u(t)$  = vektor inputan suatu sistem

$y(t)$  = vektor keluaran suatu sistem

$A, B, C, D$  = matriks *state space*



Dari pembentukan dasar *state space* pada persamaan (2.5) dan (2.6) diatas, maka pemodelan dalam bentuk matriksnya dapat ditulis seperti pada persamaan-persamaan berikut.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nr} \end{bmatrix} \dots (2.7)$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_r \end{bmatrix} \dots (2.8)$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_1 \\ \dots \\ y_m \end{bmatrix} \dots (2.9)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \dots (2.10)$$

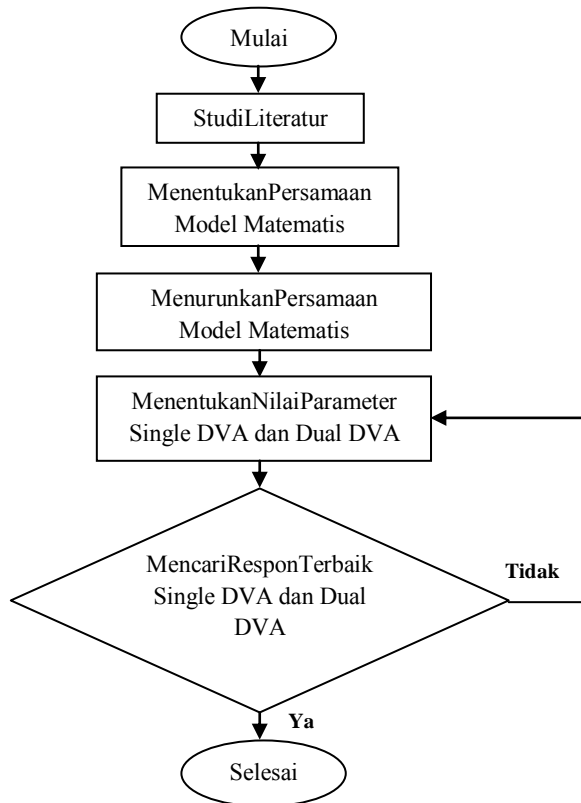
$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1r} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mr} \end{bmatrix} \dots (2.11)$$

Dari bentuk persamaan matriks ini, maka variabel persamaan sistem dinamik dapat disimulasikan untuk menemukan solusi dari persamaan sistem differensialnya menggunakan salah satu *software* komputer untuk mengetahui respon perpindahan (*displacement*) menggunakan *software* Mathcad 14.0.

### BAB III

## METODOLOGI PERANCANGAN

Pada penyelesaian tugas akhir ini membutuhkan beberapa tahapan-tahapan yang dilakukan dan ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Perancangan

Bab ini akan membahas mengenai spesifikasi mesin sentrifugal yang akan diredam getarannya beserta bentuk pemodelan matematis yang telah diberi sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*. Untuk pemodelan matematis sebelum diberikan sistem *Dual DVA* telah dijelaskan pada BAB 2. Setelah didapatkan bentuk pemodelan matematis mesin sentrifugal tanpa peredam dan dengan peredam *Dual DVA*, maka selanjutnya dapat diselesaikan kedalam bentuk fungsi *state space*.

### 3.1. Spesifikasi Mesin Sentrifugal

Spesifikasi mesin sentrifugal yang digunakan dan dijadikan pedoman untuk peredaman getaran mekanis dalam tugas akhir ini data spesifikasi mesin generator set merk Mitshubishi S6K dan Alternator merk Stamford tipe UCI224 (Wibowo, 2011) dimana parameter yang dibutuhkan untuk simulasi peredaman getaran menggunakan Software Mathcad 14.0 antara lain :

Tipe mesin	: Mitsubishi S6K
Berat mesin	: 1567,69 kg
Berat rotor	: 337 kg
<i>Speed Operation</i>	: 1500 rpm
Frekuensi	: 50/60 Hz
<i>Critical Speed</i>	: 1376 rpm

*Speed operation* merupakan kecepatan actual mesin dimana mesin Mitsubishi S6K ini dapat berjalan sebagaimana mestinya. *Critical Speed* merupakan kecepatan kritis dari suatu mesin dimana terdapat frekuensi natural didalamnya dan terdapat kecepatan putar yang bersesuaian dengan frekuensi natural dari sistem ( Maurice, 2001; Aimikhe, 2013).

### 3.2 Gaya Eksentrisitas Mesin Sentrifugal

Pada mesin sentrifugal yang bekerja dengan penerapan momen inersia pada perputaran mesinya memiliki

ketidakseimbangan dalam perputaran mesinnya yang disebut sebagai beban eksentrisitas akibat garis gaya yang bekerja tidak melalui titik berat pondasi (sumbu benda) yang ada sehingga menimbulkan pergeseran pada perputaran porosnya yang biasa disebut ketidakseimbangan rotasi.

Ketidakseimbangan rotasi dinyatakan dengan  $m\omega^2$  dimana  $m$  menyatakan massa rotor,  $e$  menyatakan eksentrisitas mesin sentrifugal yang bekerja pada kecepatan tertentu, dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut yang merupakan gaya pengganggu dari dalam mesin sentrifugal itu sendiri, sehingga pengaruh gaya eksentris ini dapat ditulis dalam persamaan :

$$F(t) = m\omega^2 \sin \omega t \quad \dots (3.1)$$

Nilai eksentrisitas suatu mesin tidak terjadi begitu saja, tetapi dapat dikarenakan dari karakteristik mesin tersebut. Penentuan nilai eksentrisitas mesin menurut *American Petroleum Institute Standard for Centrifugal Compressors (API Standard 617)*, dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$e = \frac{e'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2} \quad \dots (3.2)$$

Dimana :

- $e'$  = eksentrisitas dari massa *unbalance* (0,0381 mm)
- $\omega$  = kecepatan putar rotor saat beroperasi (rpm atau rad/sec)
- $\omega_c$  = kecepatan kritis (rpm atau rad/sec)
- $e$  = eksentrisitas rotor (m).

Dari persamaan (3.2) ini maka nilai eksentrisitas dapat diketahui dan gaya eksentrisitas dari mesin sentrifugal Mitshubishi S6K ini memiliki persamaan pengganggu yang tidak jauh berbeda dari beberapa studi yang telah dilakukan pada tahun

1962 yang memperkenalkan beberapa nilai eksentrisitas pada beberapa mesin (El-Reedy, 2011 ; Yudhikarisma, 2013).

Dari data spesifikasi mesin Mitsubishi S6K kemudian dapat dilakukan perhitungan nilai dari eksentrisitas mesin sentrifugal menggunakan persamaan (3.2).

$$e = \frac{e'}{\left|1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right|} = \frac{0,0381 \text{ mm}}{\left|1 - \left(\frac{1500}{1376}\right)^2\right|} = 0,203 \text{ mm}$$

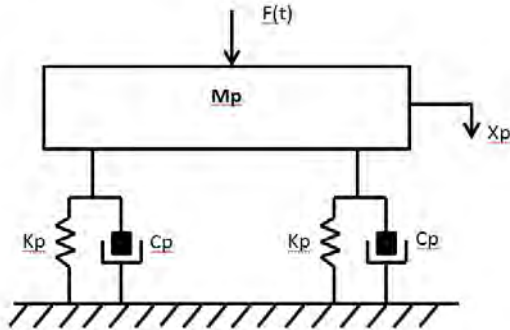
$$= 0,203 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Nilai eksentrisitas mesin sentrifugal sebesar  $0,203 \times 10^{-4}$  meter ini kemudian disubstitusikan pada persamaan (3.1), sehingga didapatkan persamaan pengganggu untuk mesin sentrifugal ini adalah :

$$F(t) = 1,0729 \sin(157,08.t) \quad \dots (3.3)$$

### 3.3 Mesin Sentrifugal Tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

Mesin Sentrifugal tanpa adanya *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* ini terdiri dari massa mesin sentrifugal itu sendiri yang disebut sebagai massa primer (Mp), pegas primer (Kp), dan damper primer (Cp) yang tersusun secara paralel pada sistemnya dan memiliki model matematik pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Pemodelan Mesin Sentrifugal Tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

Adapun bentuk persamaan pemodelan matematis dari Gambar 3.2 adalah sebagai berikut :

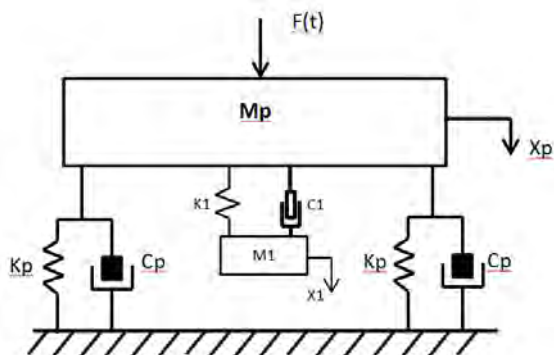
$$M_p \cdot \ddot{X}_p + 2 \cdot C_p \cdot \dot{X}_p + 2 \cdot K_p \cdot X_p = F(t) \quad \dots (3.4)$$

Dimana pada pemodelan mesin sentrifugal tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* ini memiliki gaya pengganggu, yaitu  $F(t)$  pada keadaan primernya sehingga mempengaruhi bentuk model matematis dari mesin sentrifugal secara primer tanpa peredaman *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*.

### 3.4 Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*

Mesin sentrifugal dalam pemodelan ini merupakan ketetapan primer dimana sistem yang terdapat pada mesin sentrifugal seperti massa primer ( $M_p$ ), pegas primer ( $K_p$ ), dan damper primer ( $C_p$ ) merupakan kesatuan komponen yang telah terpasang pada sistem.

Penambahan peredam *Single Dynamic Vibration Absorber* (*Single DVA*) pada sistem primer adalah dengan cara menambahkan sebuah massa pemberat ( $M_1$ ) yang diletakkan pada sistem primer dengan cara menggantung yang disertai penambahan pegas ( $K_1$ ) dan damper ( $C_1$ ) dimana parameter penentuan nilai dari sistem peredam ini dapat ditentukan melalui simulasi trial and error menggunakan software Mathcad 14.0 dengan tujuan agar dapat mengurangi respon perpindahan (*displacement*) sehingga bentuk pemodelan sistem dari *Single Dynamic Vibration Absorber* (*Single DVA*) ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Pemodelan Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber* (*Single DVA*)

Penambahan sistem peredaman *Single Dynamic Vibration Absorber* (*Single DVA*) menimbulkan dua buah persamaan gerak dimana terdapat dua derajat kebebasan (*two degrees of freedom*) yang ditinjau dari respon sistem primer dan sistem peredamnya. Dari Gambar 3. maka bentuk persamaan pemodelan matematis ditinjau dari sistem primer mesin sentrifugal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$M_p \cdot \ddot{X}_p + 2C_p(\dot{X}_p - 0) + 2K_p(X_p - 0) + C_1(\dot{X}_p - \dot{X}_1) + K_1(X_p - X_1) = F(t) \quad \dots (3.5)$$

Dari persamaan di atas tersebut nilai  $F(t)$  ditentukan dari gaya pengganggu dari sistem mesin sentrifugal sebesar  $1,0729 \sin(157,08.t)$ . Sedangkan untuk persamaan pemodelan matematis ditinjau dari massa peredam *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

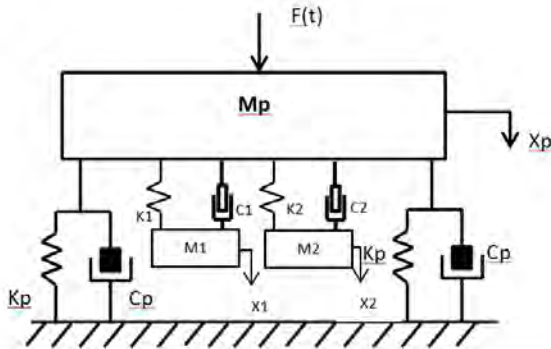
$$M_1 \cdot \ddot{X}_1 + C_1(\dot{X}_1 - \dot{X}_p) + K_1(X_1 - X_p) = 0 \quad \dots (3.6)$$

Dari persamaan yang ditinjau dari massa peredam ( $M_1$ ) di atas tidak memiliki gaya pengganggu dikarenakan gaya pengganggu hanya berasal dari massa sistem primer, yaitu getaran dari mesin sentrifugal yang akan diredam getarannya.

### **3.5 Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)***

Mesin sentrifugal dengan penambahan sistem peredam *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* memiliki kelemahan diantaranya yaitu respon perpindahan (*displacement*) yang dihasilkan ternyata memiliki kecepatan rotasi yang berubah-ubah serta *settling time* yang lebih lama sehingga dibutuhkan suatu sistem peredam yang lebih unggul, yaitu *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* dengan menggandakan massa peredam ( $M_2$ ), pegas ( $K_2$ ), dan damper ( $C_2$ ) pada sistem primer mesin sentrifugal dengan cara menggantungnya secara bersama-sama dengan bentuk pemodelan sistem yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.





**Gambar 3.4** Pemodelan Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*

Pada peredaman mesin sentrifugal menggunakan *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* memiliki tiga derajat kebebasan (*three degrees of freedom*) dengan parameter yang ditinjau dari massa primer mesin sentrifugal itu sendiri, massa peredam pertama, dan massa peredam kedua. Dari ketiga parameter peninjauan inilah maka bentuk persamaan pemodelan matematis ditinjau dari massa primer dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_p \cdot \ddot{X}_p + 2C_p(\dot{X}_p - 0) + 2K_p(X_p - 0) + C_{21}(\dot{X}_p - \dot{X}_{21}) + \\
 K_{21}(X_p - X_{21}) + C_{22}(\dot{X}_p - \dot{X}_{22}) + K_{22}(X_p - X_{22}) = F(t)
 \end{aligned}
 \quad \dots (3.7)$$

Seperti halnya pada sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*, nilai  $F(t)$  ditentukan dari gaya pengganggu dari sistem mesin sentrifugal sebesar  $1,0729 \sin(157,08.t)$ . Sedangkan untuk persamaan pemodelan matematis ditinjau dari massa peredam pertama dapat dituliskan sebagai berikut :

$$M_{21} \cdot \ddot{X}_{21} + C_{21}(\dot{X}_{21} - \dot{X}_p) + K_{21}(X_{21} - X_p) = 0 \quad \dots (3.8)$$

Dan untuk persamaan pemodelan matematis ditinjau dari massa peredam kedua dapat dituliskan sebagai berikut :

$$M_{22} \cdot \ddot{X}_{22} + C_{22}(\dot{X}_{22} - \dot{X}_p) + K_{22}(X_{22} - X_p) = 0 \quad \dots (3.9)$$

*Halaman ini memang dikosongkan*

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini membahas mengenai hasil simulasi peredaman getaran mesin sentrifugal menggunakan *Software Mathcad 14.0* dimana simulasi peredaman getaran ini terbagi menjadi tiga tahap, yaitu simulasi peredaman mesin sentrifugal tanpa Sistem *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*, simulasi peredaman mesin sentrifugal dengan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*, dan simulasi peredaman mesin sentrifugal dengan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* yang mana akan dicari nilai peredaman terbaik dan optimal dari hasil simpangan (*respon displacement*) yang paling rendah hingga mencapai keadaan stabil.

#### **4.1 Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)***

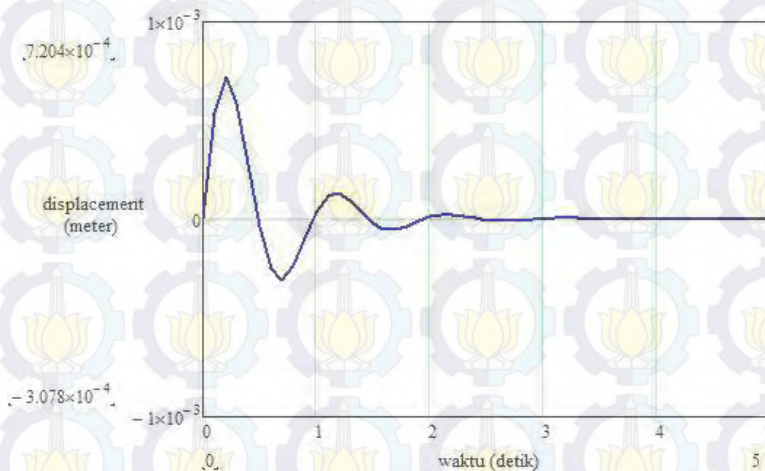
Pada simulasi peredaman mesin sentrifugal tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* ini adalah untuk mencari respon getaran mekanis atau simpangan primer yang dihasilkan oleh karakteristik mesin sentrifugal itu sendiri dimana gaya eksentrisnya berasal dari dalam rotor. Hasil respon yang disimulasikan adalah besar simpangan (*displacement*) terhadap waktu, yaitu seberapa lama waktu yang dibutuhkan oleh besar simpangan amplitudo yang dihasilkan dari mesin sentrifugal untuk mencapai keadaan stabil.

Pada simulasi peredaman mesin sentrifugal tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* ini digunakan beberapa parameter utama, antara lain massa primer ( $M_p$ ), pegas primer ( $K_p$ ), dan damper primer ( $C_p$ ) sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Nilai Parameter pada Sistem Primer

Parameter	Nilai Parameter
Massa Primer ( $M_p$ )	1567,69 kg
Pegas Primer ( $K_p$ )	35.000 N/m
Damper Primer ( $C_p$ )	2.700 N.s/m

Hasil Respon peredaman mesin sentrifugal tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini :

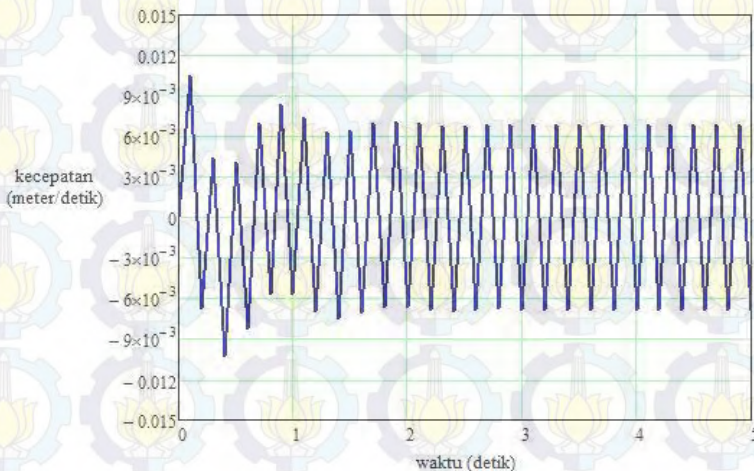
**Gambar 4.1** Respon *Displacement* Mesin Sentrifugal Tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

Keterangan :

— : displacement tanpa DVA

Pada Gambar 4.1 merupakan grafik dari respon *displacement* terhadap waktu pada mesin sentrifugal yang merupakan simpangan primer tanpa adanya penambahan sistem peredaman yang digambarkan dalam bentuk osilasi sederhana

dimana sistem primer (mesin Mitsubishi S6K) mengalami gerak osilasi teredam dan mengalami perubahan penurunan amplitudo hingga mencapai keadaan *steady state*-nya dengan *maximal overshoot* bernilai  $7,204 \times 10^{-4}$  meter dan *minimal overshoot* bernilai  $-3,078 \times 10^{-4}$  meter sehingga sistem mencapai keadaan stabil setelah detik ke-5. Hal ini menunjukkan bahwa mesin sentrifugal tidak langsung dapat mencapai keadaan stabil, tetapi membutuhkan waktu untuk berosilasi terlebih dahulu hingga mencapai keadaan stabilnya. Dari nilai *maximal* dan *minimal overshoot* inilah kemudian dapat dicari nilai peredaman terbaik dan optimal menggunakan variasi massa, variasi pegas, dan variasi damper menggunakan Sistem *Single DVA* dan Sistem *Dual DVA* yang kemudian dibandingkan hasil dari respon peredaman terbaiknya.



**Gambar 4.2** Respon Kecepatan Mesin Sentrifugal Tanpa *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

Keterangan :

— : kecepatan tanpa DVA



Gambar 4.2 merupakan grafik dari kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal sebelum diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* dan Sistem *Dual DVA* dimana pada saat mesin pertama kali dijalankan terjadi peningkatan amplitudo dengan kecepatan maksimal sebesar 0,011 meter/detik dan kecepatan minimum sebesar -0,01 meter/detik yang terjadi pada detik pertama mesin dihidupkan hingga 1,5 detik sehingga mesin dapat diindikasikan mengalami kecepatan sesaat pada kurun waktu tertentu. Sementara itu kecepatan mengalami keadaan *steady state* dengan kecepatan maksimal sebesar  $7 \times 10^{-3}$  meter/detik dan kecepatan minimum sebesar  $-7 \times 10^{-3}$  meter/detik setelah detik ke-2. Keadaan *steady state* pada rentang amplitudo ini dijaga konstan sehingga sama halnya dengan penerapan gaya penggerak (*driving force*) yang berubah-ubah secara periodik dan mengalami osilasi paksa (osilasi yang digerakkan).

Perpindahan (*displacement*) mengindikasikan seberapa jauh suatu objek bergetar, sedangkan kecepatan (*velocity*) mengindikasikan seberapa cepat objek bergetar.

## 4.2 Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Menggunakan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*

Pada simulasi peredaman mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* ini menggunakan beberapa variasi dari penambahan massa ( $M_1$ ), pegas ( $K_1$ ), dan damper ( $C_1$ ) guna mendapatkan respon peredaman terbaik dan optimal dari mesin sentrifugal.

### 4.2.1 Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

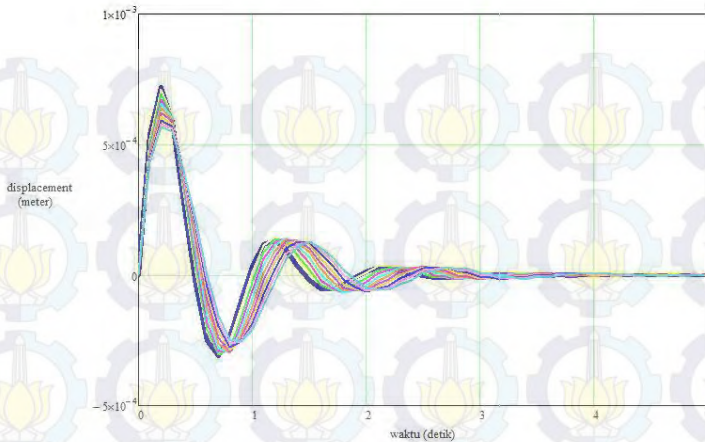
Pada variasi massa ( $M_1$ ) peredaman menggunakan Sistem *Single DVA* ini divariasikan menjadi sepuluh variasi massa yang ditentukan dengan tidak melebihi 50% dari berat massa primer ( $M_p$ ) mesin sentrifugal (78,385 kg; 156,769 kg; 235,153 kg; 313,538 kg; 391,923 kg; 470,307 kg; 548,691 kg; 627,076 kg; 705,460 kg; dan 783,845 kg) dan nilai dari variasi massa ( $M_1$ ) dikombinasikan dengan lima belas variasi pegas ( $K_1$ ) dan damper

( $C_1$ ) dimana nilai dari damper ( $C_1$ ) adalah 20% dari nilai pegas ( $K_1$ ). Adapun nilai dari kelima belas kombinasi pegas ( $K_1$ ) dan damper ( $C_1$ ) tersebut adalah  $K_1=10.000$  N/m dan  $C_1=2000$  N.s/m;  $K_1=17.500$  N/m dan  $C_1=3500$  N.s/m;  $K_1=25.000$  N/m dan  $C_1=5000$  N.s/m;  $K_1=30.000$  N/m dan  $C_1=6000$  N.s/m;  $K_1=35.000$  N/m dan  $C_1=7000$  N.s/m;  $K_1=40.000$  N/m dan  $C_1=8000$  N.s/m;  $K_1=45.000$  N/m dan  $C_1=9000$  N.s/m;  $K_1=50.000$  N/m dan  $C_1=10.000$  N.s/m;  $K_1=55.000$  N/m dan  $C_1=11.000$  N.s/m;  $K_1=60.000$  N/m dan  $C_1=12.000$  N.s/m;  $K_1=65.000$  N/m dan  $C_1=13.000$  N.s/m;  $K_1=70.000$  N/m dan  $C_1=14000$  N.s/m;  $K_1=75.000$  N/m dan  $C_1=15.000$  N.s/m;  $K_1=80.000$  N/m dan  $C_1=16.000$  N.s/m;  $K_1=85.000$  N/m dan  $C_1=17.000$  N.s/m. Respon perbandingan peredaman dari variasi massa ( $M_1$ ) yang terbaik ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3, sedangkan hasil perbandingan data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

**Tabel 4.2** Variasi Massa ( $M_1$ ) Sistem *Single DVA*

Parameter		Persentase Variasi Massa ( $M_1$ )	Variasi Massa ( $M_1$ ) (kg)
Pegas ( $K_1$ ) (N/m)	Damper ( $C_1$ ) (N.s/m)		
60.000	12.000	5 % $M_p$	78,385
		10 % $M_p$	156,769
		15 % $M_p$	235,153
		20 % $M_p$	313,538
		25 % $M_p$	391,923
		30 % $M_p$	470,307
		35 % $M_p$	548,691
		40 % $M_p$	627,076
		45 % $M_p$	705,460
		50 % $M_p$	783,845





**Gambar 4.3** Respon Perbandingan *Displacement* pada Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

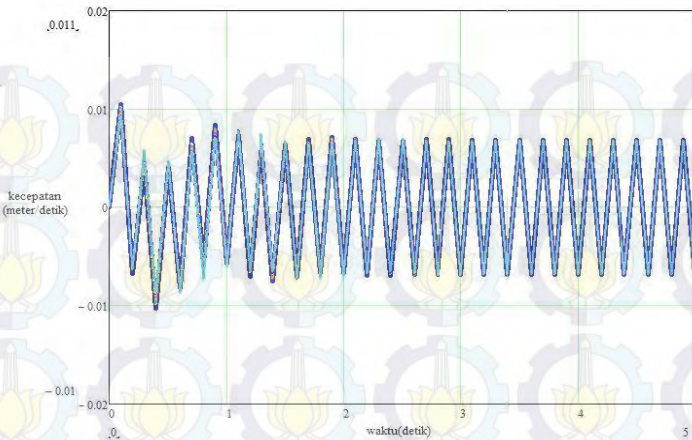
Keterangan :

- : displacement tanpa DVA
- : displacement single DVA variasi massa 1
- : displacement single DVA variasi massa 2
- : displacement single DVA variasi massa 3
- : displacement single DVA variasi massa 4
- : displacement single DVA variasi massa 5
- : displacement single DVA variasi massa 6
- : displacement single DVA variasi massa 7
- : displacement single DVA variasi massa 8
- : displacement single DVA variasi massa 9
- : displacement single DVA variasi massa 10

Berdasarkan perbandingan respon dari variasi massa ( $M_1$ ) pada Gambar 4.3 terlihat bahwa pada variasi massa ( $M_1$ ) yang terendah yaitu 78,385 kg dapat mereduksi amplitudo dari

*displacement* sistem primer dengan *maximal overshoot* sebesar  $7,114 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 1,25%, dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,993 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 2,76%, sedangkan dengan penambahan massa ( $M_1$ ) hingga 391,923 kg dapat mereduksi amplitudo dari *displacement* sistem primer pada *maximal overshoot* sebesar  $6,392 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 11,27% dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,988 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 2,92%, dan pada penambahan massa ( $M_1$ ) sebesar 783,845 kg dapat mereduksi amplitudo dari *displacement* sistem primer pada *maximal overshoot* sebesar  $5,662 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 21,40% dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,542 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 17,41%. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penambahan massa ( $M_1$ ) pada Sistem *Single DVA* terdapat perubahan rasio peredaman yang semakin lama semakin besar seiring dengan penambahan dari variasi massa ( $M_1$ ) yang telah dilakukan menunjukkan bahwa peredaman getaran mekanis pada sistem primer dapat dilakukan.

Penambahan massa ( $M_1$ ) pada variasi massa Sistem *Single DVA* untuk mereduksi getaran mekanis dari mesin sentrifugal berpengaruh terhadap besarnya amplitudo simpangan yang dihasilkan, dimana jika semakin kecil massa ( $M_1$ ) yang diberikan terhadap sistem primer dengan ketetapan penambahan variasi pegas ( $K_1$ ) dan damper ( $C_1$ ) justru akan memperbesar amplitudo dari respon perpindahan (*displacement*) sistem primer yang akan diredam getarannya. Sedangkan pada saat massa ( $M_1$ ) yang diberikan pada Sistem *Single DVA* semakin besar hingga mencapai 50% massa primer ( $M_p$ ) maka dapat meredam getaran dari sistem primer yang ada sehingga amplitudo simpangan (*displacement*) mengecil. Waktu yang dibutuhkan mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single DVA* ini untuk mencapai keadaan stabil membutuhkan waktu selama  $\pm 5$  detik.



**Gambar 4.4** Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

Keterangan :

- : kecepatan tanpa DVA
- : kecepatan single DVA variasi massa 1
- : kecepatan single DVA variasi massa 2
- : kecepatan single DVA variasi massa 3
- : kecepatan single DVA variasi massa 4
- : kecepatan single DVA variasi massa 5
- : kecepatan single DVA variasi massa 6
- : kecepatan single DVA variasi massa 7
- : kecepatan single DVA variasi massa 8
- : kecepatan single DVA variasi massa 9
- : kecepatan single DVA variasi massa 10

Gambar 4.4 merupakan hasil dari perbandingan respon kecepatan yang terjadi seiring dengan penambahan massa ( $M_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dimana grafik dari kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal setelah diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* jika dibandingkan dengan



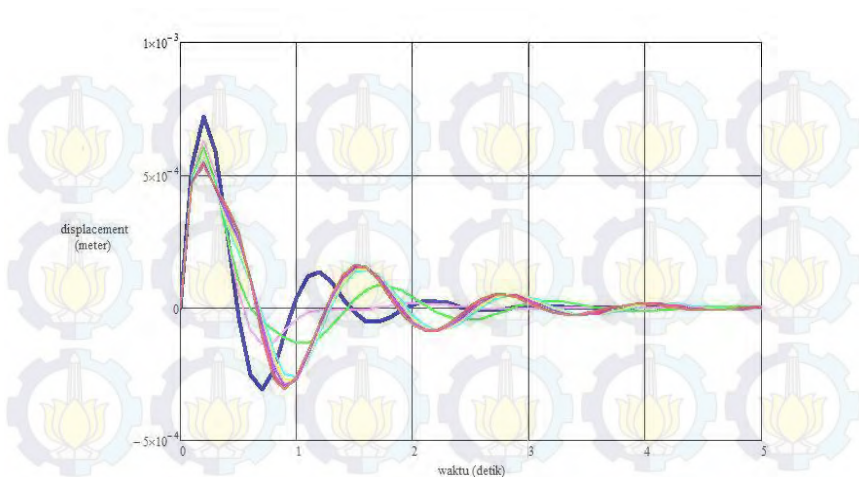
Sistem primernya mengalami penurunan serta peredaman pada kecepatannya seiring dengan peredaman yang dilakukan terhadap respon perpindahan (*displacement*) yang dilakukan.

#### 4.2.2 Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

Pada variasi pegas ( $K_1$ ) peredaman getaran mekanis menggunakan Sistem *Single DVA* divariasikan menjadi dua puluh variasi, yaitu 10.000 N/m; 25.000 N/m; 50.000 N/m; 55.000 N/m; 55.000 N/m; 60.000 N/m; 65.000 N/m; 70.000 N/m; 72.500 N/m; 75.000 N/m; 80.000 N/m; 82.500 N/m; 85.000 N/m; 87.500 N/m; 90.000 N/m; 92.500 N/m; 95.000 N/m; 97.500 N/m; 100.000 N/m; 110.000 N/m; dan 125.000 N/m yang kemudian dikombinasikan dengan pemilihan massa ( $M_1$ ) sebesar 783,845 kg dimana merupakan massa dari Sistem *Single DVA* yang mampu meredam getaran dari mesin sentrifugal yang terbaik. Sedangkan untuk pemilihan konstanta damper ( $C_1$ ) dipilih secara acak dengan lima variasi damper ( $C_1$ ), yaitu 2500 N.s/m; 5000 N.s/m; 7500 N.s/m; 10.000 N.s/m; dan 15.000 N.s/m dengan catatan nilai dari parameter massa ( $M_1$ ) dan damper ( $C_1$ ) tidak berubah selama simulasi variasi konstanta pegas ( $K_1$ ) dilakukan. Adapun respon perbandingan peredaman dari variasi pegas ( $K_1$ ) yang terbaik dapat dilihat pada Tabel 4.3, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6, sedangkan hasil perbandingan data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

**Tabel 4.3** Variasi Pegas ( $K_1$ ) Sistem *Single DVA*

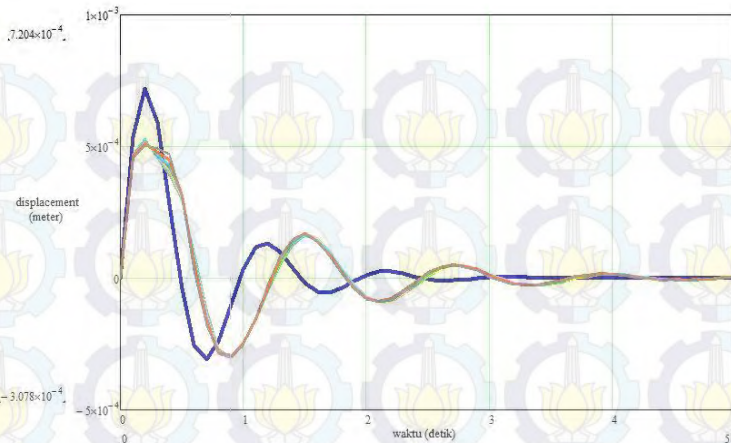
Parameter		Variasi Pegas	Variasi Pegas
Massa ( $M_1$ ) (kg)	Damper ( $C_1$ ) (N.s/m)	( $K_1$ ) (N/m)	( $K_1$ ) (N/m)
783,845	2.500	10.000	82.500
		25.000	85.000
		50.000	87.500
		55.000	90.000
		60.000	92.500
		65.000	95.000
		70.000	97.500
		72.500	100.000
		75.000	110.000
		80.000	125.000



**Gambar 4.5** Respon Perbandingan *Displacement Variasi Pegas* ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dengan Nilai  $K_1 = 10.000 \text{ N/m}$  hingga  $K_1 = 80.000 \text{ N/m}$

Keterangan :

- : displacement tanpa DVA
- : displacement single DVA variasi pegas 1
- : displacement single DVA variasi pegas 2
- : displacement single DVA variasi pegas 3
- : displacement single DVA variasi pegas 4
- : displacement single DVA variasi pegas 5
- : displacement single DVA variasi pegas 6
- : displacement single DVA variasi pegas 7
- : displacement single DVA variasi pegas 8
- : displacement single DVA variasi pegas 9
- : displacement single DVA variasi pegas 10



**Gambar 4.6** Respon Perbandingan *Displacement* Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dengan Nilai  $K_1 = 82.500 \text{ N/m}$  hingga  $K_1 = 125.000 \text{ N/m}$

Keterangan :

- : displacement tanpa DVA
- : displacement single DVA variasi pegas 11
- : displacement single DVA variasi pegas 12
- : displacement single DVA variasi pegas 13
- : displacement single DVA variasi pegas 14
- : displacement single DVA variasi pegas 15
- : displacement single DVA variasi pegas 16
- : displacement single DVA variasi pegas 17
- : displacement single DVA variasi pegas 18
- : displacement single DVA variasi pegas 19
- : displacement single DVA variasi pegas 20

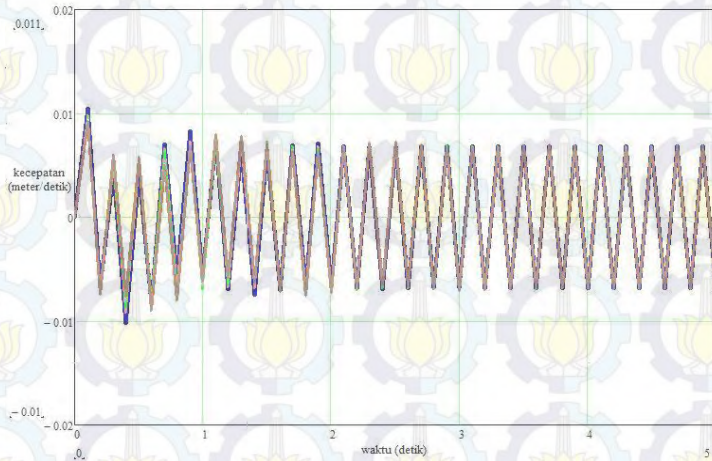
Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 terlihat bahwa pada variasi pegas ( $K_1$ ) yang terendah yaitu  $10.000 \text{ N/m}$  dapat mereduksi amplitudo dari *displacement* sistem primer pada *maximal overshoot* sebesar  $6,305 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 12,48% dan *minimal overshoot* sebesar -



$1,363 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman 55,72%. Seiring dengan penambahan nilai dari konstanta pegas ( $K_1$ ) hingga 87.500 N/m ternyata dapat mereduksi amplitudo dari *displacement* sistem primer pada *maximal overshoot* sebesar  $5,267 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 26,89% dan *minimal overshoot* sebesar  $-3,022 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman 1,82%, dan pada penambahan nilai konstanta pegas ( $K_1$ ) hingga sebesar 125.000 N/m dapat mereduksi amplitudo dari *displacement* sistem primer pada bagian *maximal overshoot* sebesar  $5,031 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman sebesar 30,16% dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,943 \times 10^{-4}$  meter atau persentase redaman 4,39%. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penambahan nilai dari konstanta pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* terdapat perubahan rasio peredaman yang semakin lama semakin meningkat dengan kombinasi damper ( $C_1$ ) sebesar 2500 N.s/m, sedangkan waktu yang dibutuhkan mesin sentrifugal yang diredam getaran mekanisnya menggunakan Sistem *Single DVA* dengan variasi konstanta pegas ( $K_1$ ) ini untuk mencapai keadaan stabil membutuhkan waktu selama  $\pm 5$  detik. Hal ini menunjukkan semakin besar nilai atau konstanta pegas ( $K_1$ ) yang dipilih pada Sistem *Single DVA* mampu mereduksi getaran mekanis jika dikombinasikan dengan pemilihan peredaman dari massa ( $M_1$ ) yang terbaik dengan damper ( $C_1$ ) yang kecil, sebaliknya apabila pegas ( $K_1$ ) tersebut dikombinasikan dengan damper ( $C_1$ ) yang besar maka pegas akan mencapai titik lelehnya dan kehilangan energi untuk dapat meredam kembali pada suatu sistem yang akan diredam getaran mekanisnya.

Dari berbagai simulasi yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa penambahan pegas ( $K_1$ ) untuk mereduksi getaran mekanis dari mesin sentrifugal berpengaruh terhadap besarnya amplitudo *displacement* yang dihasilkan, dimana jika semakin kecil konstanta pegas ( $K_1$ ) yang diberikan terhadap sistem primer dengan mempertahankan konstanta damper ( $C_1$ ) maka akan menyebabkan amplitudo *displacement*-nya menjadi kurang stabil, sebaliknya jika semakin besar konstanta pegas ( $K_1$ ) yang diberikan maka sistem akan memiliki kecenderungan yang lebih

stabil pada *maximal* dan *minimal overshoot*-nya. Pengkombinasian dari konstanta pegas ( $K_1$ ) dengan berbagai variasi ( $C_1$ ) ternyata dapat menyebabkan amplitudo dari respon perpindahan (*displacement*) semakin menurun seiring dengan semakin besar nilai konstanta damper ( $C_1$ ) yang dipilih.

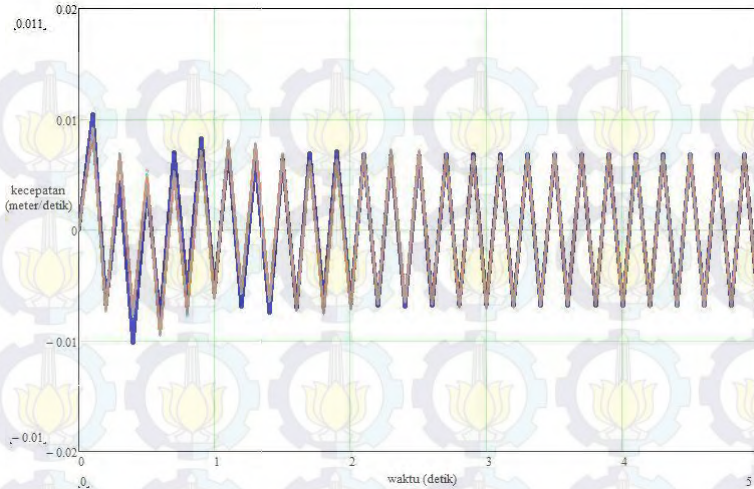


**Gambar 4.7** Respon Perbandingan Kecepatan Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dengan Nilai  $K_1 = 10.000 \text{ N/m}$  hingga  $K_1 = 80.000 \text{ N/m}$

Keterangan :

- : kecepatan tanpa DVA
- : kecepatan single DVA variasi pegas 1
- : kecepatan single DVA variasi pegas 2
- : kecepatan single DVA variasi pegas 3
- : kecepatan single DVA variasi pegas 4
- : kecepatan single DVA variasi pegas 5
- : kecepatan single DVA variasi pegas 6
- : kecepatan single DVA variasi pegas 7
- : kecepatan single DVA variasi pegas 8
- : kecepatan single DVA variasi pegas 9
- : kecepatan single DVA variasi pegas 10





**Gambar 4.8** Respon Perbandingan Kecepatan Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dengan Nilai  $K_1 = 82.500 \text{ N/m}$  hingga  $K_1 = 125.000 \text{ N/m}$

Keterangan :

- : kecepatan tanpa DVA
- : kecepatan single DVA variasi pegas 11
- : kecepatan single DVA variasi pegas 12
- : kecepatan single DVA variasi pegas 13
- : kecepatan single DVA variasi pegas 14
- : kecepatan single DVA variasi pegas 15
- : kecepatan single DVA variasi pegas 16
- : kecepatan single DVA variasi pegas 17
- : kecepatan single DVA variasi pegas 18
- : kecepatan single DVA variasi pegas 19
- : kecepatan single DVA variasi pegas 20

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan hasil dari perbandingan respon kecepatan yang terjadi seiring dengan penambahan variasi nilai konstanta pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dimana grafik dari kecepatan getaran yang dialami oleh

mesin sentrifugal setelah diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* respon kecepatan pada amplitudonya mengalami peredaman juga sehingga kecepatan putaran pada mesin sentrifugal menjadi lebih stabil.

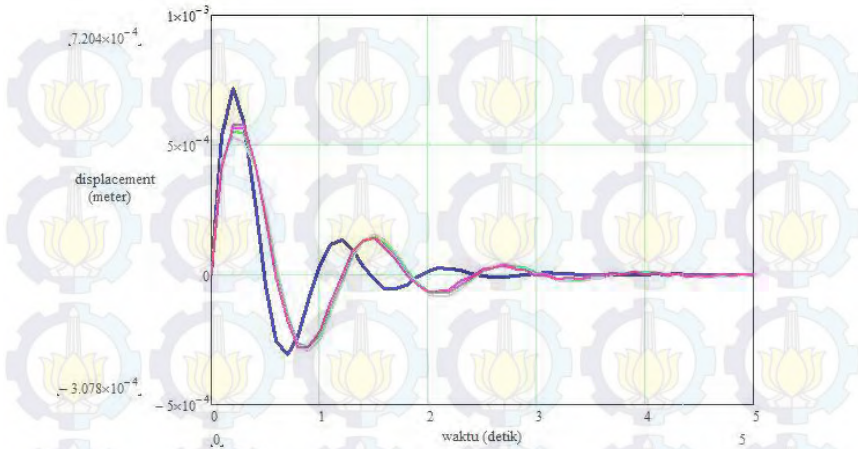
#### 4.2.3 Variasi Damper ( $C_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

Pada variasi konstanta damper ( $C_1$ ) peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single DVA* ini divariasikan sebanyak lima variasi dimana besarnya konstanta atau nilai dari damper ( $C_1$ ) ini diambil dari persentase kemungkinan yang dapat dikombinasikan dengan variasi konstanta pegas ( $K_1$ ) sebelumnya, yaitu 5%; 10%; 15%; 20%; dan 25% dengan tujuan untuk mendapatkan hasil simulasi respon perpindahan (*displacement*) yang terbaik.

Berdasarkan variasi konstanta damper ( $C_1$ ) ini maka dapat diolah dan dibuat respon perbandingan hasil peredaman getaran mekanis yang terbaik. Pemilihan kombinasi antara konstanta damper ( $C_1$ ) dan konstanta pegas ( $K_1$ ) ini tentunya tidak lepas dari faktor kenyamanan yang diinginkan, yaitu mencari respon peredaman dengan nilai terkecil guna mencapai kestabilan sistem dari perbandingan amplitudo yang terendah dan terbaik sebelum sistem dari mesin sentrifugal diberi tambahan *Single DVA* dengan setelah diberi tambahan *Single DVA*. Adapun respon perbandingan peredaman dari variasi damper ( $C_1$ ) yang terbaik dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.9, sedangkan hasil perbandingan data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

**Tabel 4.4** Variasi Damper ( $C_1$ ) Sistem *Single DVA*

Variasi Massa ( $M_1$ ) (kg)	Variasi Pegas ( $K_1$ ) (N/m)	Variasi Damper ( $C_1$ ) (N.s/m)
783,845	110.000	5 % $K_1$
		10 % $K_1$
		15 % $K_1$
		20 % $K_1$
		25 % $K_1$



**Gambar 4.9** Respon Perbandingan *Displacement* Variasi Damper ( $C_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

Keterangan :

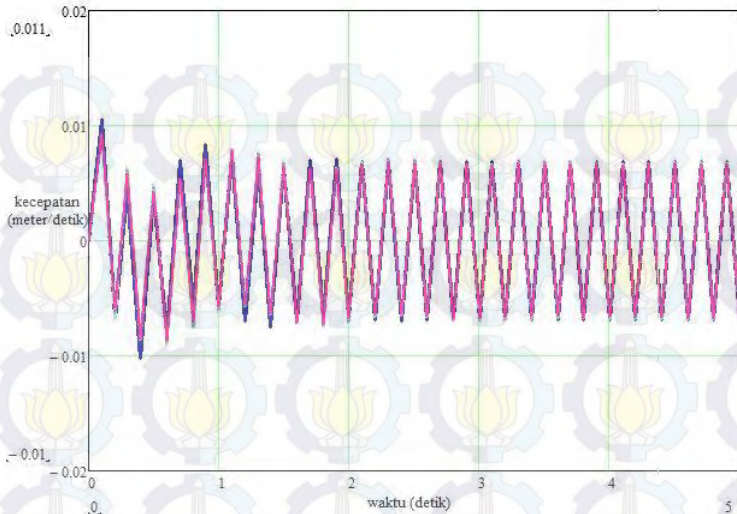
- : displacement tanpa DVA
- : displacement single DVA variasi damper 1
- : displacement single DVA variasi damper 2
- : displacement single DVA variasi damper 3
- : displacement single DVA variasi damper 4
- : displacement single DVA variasi damper 5

Berdasarkan perbandingan respon dari variasi konstanta nilai damper ( $C_1$ ) pada Gambar 4.9 terlihat bahwa pada penggunaan pegas ( $K_1$ ) sebesar 110.000 N/m yang dikombinasikan dengan beberapa variasi damper ( $C_1$ ) yang memiliki peredaman terbaik adalah dengan pengkombinasian damper ( $C_1$ ) sebesar 5% dari nilai pegas ( $K_1$ ) dimana dapat mereduksi amplitudo dari respon *displacement* sistem primer pada bagian *maximal overshoot* sebesar  $5,311 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 26,28% dan pada bagian *minimal overshoot* sebesar  $-2,905 \times 10^{-4}$  meter.



<sup>4</sup>meter dengan persentase redaman sebesar 5,62%. Sedangkan pada kombinasi damper ( $C_1$ ) sebesar 15% mengalami kenaikan *overshoot* dimana hanya mampu meredam pada bagian *maximal overshoot* sebesar  $5,682 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman 21,13% dan pada bagian *minimal overshoot* sebesar  $-2,774 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 9,88%. Kemudian pada saat pengkombinasian damper ( $C_1$ ) sebesar 25% *overshoot*-nya mengalami penambahan pada nilai amplitudonya sehingga hanya dapat meredam *maximal overshoot* hingga  $5,842 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman 18,91% dan pada bagian *minimal overshoot* sebesar  $-2,84 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 7,73%. Untuk mencapai keadaan stabil membutuhkan waktu selama  $\pm 5$  detik. Pada variasi damper ( $C_1$ ) peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal ini, penentuan persentase dalam pemilihan damper ( $C_1$ ) dari nilai konstanta pegas ( $K_1$ ) dapat berpengaruh secara signifikan dengan perolehan nilai besar atau kecilnya amplitudo getaran mekanis yang terjadi.

Penambahan persentase nilai dari konstanta damper ( $C_1$ ) yang digunakan ini ternyata justru mengakibatkan amplitudonya semakin membesar. Saat pegas ( $K_1$ ) dikombinasikan dengan damper ( $C_1$ ) yang bernilai 25% dari konstanta pegas ( $K_1$ ) yang digunakan ternyata amplitudo yang dihasilkan justru semakin membesar (*over damping*), sedangkan jika pegas ( $K_1$ ) dikombinasikan dengan damper ( $C_1$ ) yang bernilai 5% konstanta pegas ( $K_1$ ) yang digunakan maka amplitudo yang dihasilkan akan semakin mengecil dan dapat diredam getaran mekanisnya. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan serta penggunaan variasi dari konstanta damper ( $C_1$ ) sebaiknya tidak melebihi dari besarnya konstanta pegas ( $K_1$ ) yang digunakan pada Sistem *Single DVA* karena justru akan memperbesar *maximal* serta *minimal* dari *overshoot* sistem peredaman yang digunakan sehingga dapat melampaui getaran mekanis dari sistem primernya.



**Gambar 4.10** Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Dampier ( $C_1$ ) pada Sistem *Single DVA*

Keterangan :

- : displacement tanpa DVA
- : displacement single DVA variasi damper 1
- : displacement single DVA variasi damper 2
- : displacement single DVA variasi damper 3
- : displacement single DVA variasi damper 4
- : displacement single DVA variasi damper 5

Gambar 4.10 merupakan hasil dari perbandingan respon kecepatan yang terjadi seiring dengan penambahan variasi persentase nilai konstanta damper ( $C_1$ ) pada Sistem *Single DVA* dimana grafik dari kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal setelah diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* mengalami penurunan pada amplitudo respon kecepatannya sehingga menjadi lebih stabil.

Pemilihan parameter terbaik dari massa ( $M_1$ ), pegas ( $K_1$ ), dan damper ( $C_1$ ) peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single DVA* yang dilakukan melalui simulasi guna mendapatkan hasil respon peredaman getaran mekanis yang terbaik dan optimal ini mendapatkan berbagai macam nilai serta persentase peredaman yang bervariasi pula pada *maximal overshoot* dan *minimal overshoot*, sehingga pada simulasi peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* ini memiliki peredaman terbaik yang stabil pada *maximal* dan *minimal overshoot*-nya yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut ini.

**Tabel 4.5** Parameter dan Persentase Redaman Terbaik pada Sistem *Single DVA*

Displacement Tanpa DVA (m)	Parameter <i>Single DVA</i>		
	Massa ( $M_1$ ) (kg)	Pegas ( $K_1$ ) (N/m)	Damper ( $C_1$ ) (N.s/m)
$7,204 \times 10^{-4}$	783,845	125.000	2500

Pada Tabel 4.5 menunjukkan parameter pengkombinasian terbaik antara massa ( $M_1$ ), pegas ( $K_1$ ), dan damper ( $C_1$ ) yang mampu meredam getaran mekanis dari mesin sentrifugal yang memiliki *maximal overshoot* sebesar  $7,204 \times 10^{-4}$  meter dan *minimal overshoot* sebesar  $-3,078 \times 10^{-4}$  meter sehingga respon perpindahan yang dihasilkan setelah diredam getarannya menjadi *maximal overshoot*  $5,031 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,16% dan *minimal overshoot*  $-2,943 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 4,39%. Dengan demikian sistem mesin sentrifugal ini mampu bekerja secara optimal sehingga kerusakan pada struktur mesin dapat diminimalisir dengan cara mereduksi getaran mekanis yang



terjadi setelah penambahan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*.

### 4.3 Respon Peredaman Mesin Sentrifugal Menggunakan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*

Pada simulasi peredaman mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* ini menggunakan beberapa variasi dari penambahan massa ( $M_{21}$ ), massa ( $M_{21}$ ), pegas ( $K_{21}$ ), pegas ( $K_{22}$ ), Damper ( $C_{21}$ ) dan damper ( $C_{22}$ ) guna mendapatkan respon peredaman terbaik dan optimal dari mesin sentrifugal yang kemudian dibandingkan dengan hasil peredaman dari Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* untuk melihat fenomena yang terjadi.

#### 4.3.1 Variasi Massa ( $M_{21}$ dan $M_{22}$ ) pada Sistem *Dual DVA*

Pada variasi massa ( $M_{21}$  dan  $M_{22}$ ) peredaman menggunakan Sistem *Dual DVA* divariasikan menjadi sepuluh variasi massa (39,192 kg; 78,384 kg; 117,577 kg; 156,769 kg; 195,961 kg; 235,153 kg; 274,346 kg; 313,538 kg; 352,730 kg; dan 391,923 kg) yang ditentukan dengan tidak melebihi dari 50% berat massa dari Sistem *Single DVA* ( $M_1$ ), yaitu 783,845 kg atau satu massa pada Sistem *Dual DVA* ( $M_{21}$  atau  $M_{22}$ ) ini bernilai 25% dari berat massa primer ( $M_p$ ) mesin sentrifugal, yaitu 1567,69 kg sehingga bernilai sama ( $M_{21}=M_{22}$ ) dan mempertahankan nilai dari pegas  $K_{21}$  dan pegas  $K_{22}$  serta damper  $C_{21}$  dan damper  $C_{22}$  dari Sistem *Dual DVA* yang telah dipilih untuk respon peredaman terbaik. Adapun beberapa variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) bagi peredaman terbaik menggunakan Sistem *Dual DVA* ini adalah dengan penggunaan konstanta pegas  $K_1 = 65.000 \text{ N/m}$  ini divariasikan menjadi tiga variasi dengan nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  disekitar nilai pegas  $K_1$  dari Sistem *Single DVA* sedangkan konstanta damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  adalah 20% dari nilai konstanta pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang digunakan, yaitu :

- Variasi 1 :

$$K_{21} = 32.500 \text{ N/m}$$

$$C_{21} = 6500 \text{ N.s/m}$$

$$K_{22} = 29.000 \text{ N/m}$$

$$C_{22} = 5800 \text{ N.s/m}$$

- Variasi 2 :

$$K_{21} = 32.500 \text{ N/m}$$

$$C_{21} = 6500 \text{ N.s/m}$$

$$K_{22} = 32.500 \text{ N/m}$$

$$C_{22} = 6500 \text{ N.s/m}$$

- Variasi 3 :

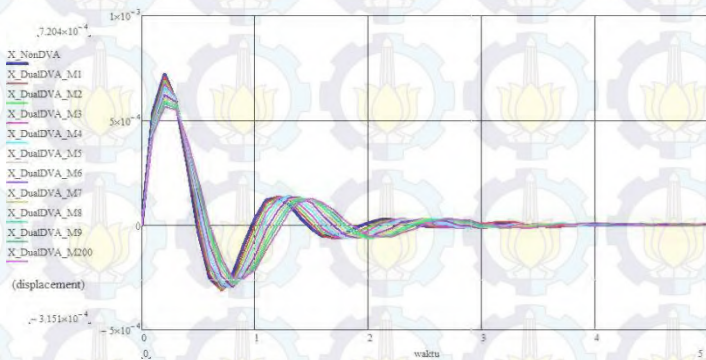
$$K_{21} = 32.500 \text{ N/m}$$

$$C_{21} = 6500 \text{ N.s/m}$$

$$K_{22} = 35.000 \text{ N/m}$$

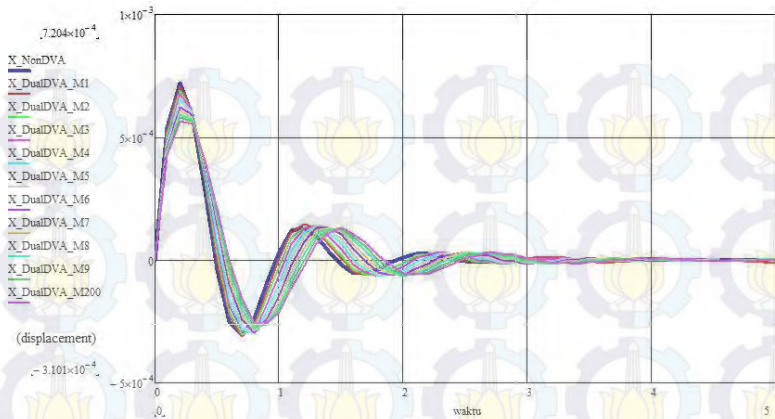
$$C_{22} = 7000 \text{ N.s/m}$$

Adapun respon perbandingan peredaman terbaik dari variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) adalah dengan pemilihan massa  $M_{21}$  sebesar 391,923 kg dan massa  $M_{22}$  sebesar 391,923 kg yang dikombinasikan dengan tiga variasi pegas ( $K_{21}$ ,  $K_{22}$ ) dan damper ( $C_{21}$ ,  $C_{22}$ ) ini dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini sehingga dapat diperoleh perbandingan respon perpindahan (*displacement*) menggunakan beberapa variasi massa yang dapat meredam simpangan amplitudo dari sistem primer ( $M_p$ ) yang terbaik.

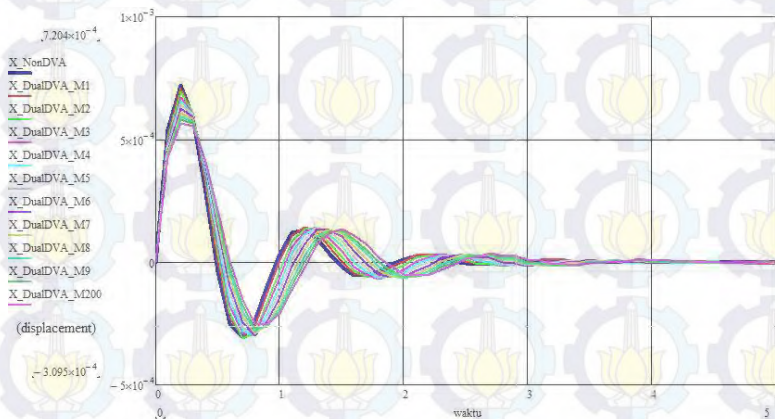


**Gambar 4.11** Respon Perbandingan *Displacement* pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 1 pada Sistem *Dual DVA*
















**Gambar 4.12** Respon Perbandingan *Displacement* pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 2 pada Sistem *Dual DVA*



**Gambar 4.13** Respon Perbandingan *Displacement* pada Variasi Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dengan Kombinasi Variasi 3 pada Sistem *Dual DVA*

## Keterangan :

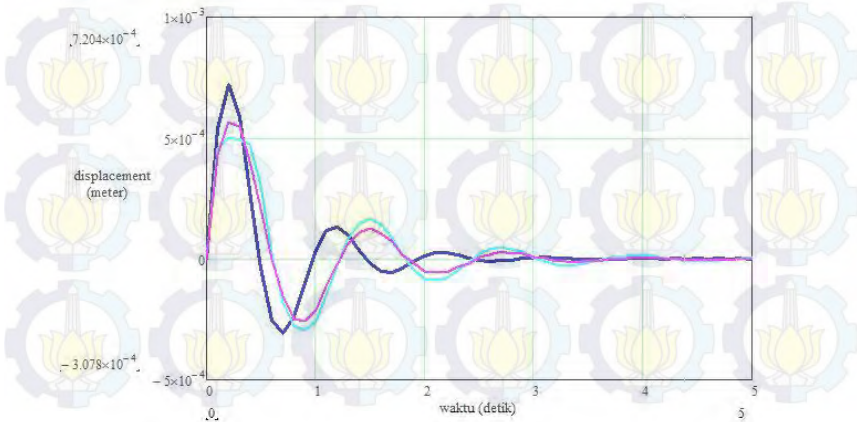
-  : displacement tanpa DVA
-  : displacement dual DVA variasi massa 1
-  : displacement dual DVA variasi massa 2
-  : displacement dual DVA variasi massa 3
-  : displacement dual DVA variasi massa 4
-  : displacement dual DVA variasi massa 5
-  : displacement dual DVA variasi massa 6
-  : displacement dual DVA variasi massa 7
-  : displacement dual DVA variasi massa 8
-  : displacement dual DVA variasi massa 9
-  : displacement dual DVA variasi massa 10

Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat bahwa peredaman pada respon displacement yang terbaik adalah pada pemilihan nilai konstanta pegas ( $K_1$ ) yang berkisar antara  $K_1=65.000$  N/m. Pada Gambar 4.11 merupakan respon perbandingan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) yang dikombinasikan dengan pegas ( $K_{21}$ ) sebesar 32.500 N/m serta damper ( $C_{21}$ ) sebesar 6500 N.s/m dan pegas ( $K_{22}$ ) sebesar 29.000 N/m serta damper ( $C_{22}$ ) sebesar 5800 N.s/m dimana pada pengkombinasian nilai dari parameter ini dapat meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,664 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 21,38% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,554 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 17,02%.

Gambar 4.12 merupakan respon perbandingan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) yang dikombinasikan dengan pegas ( $K_{21}$ ) sebesar 32.500 N/m serta damper ( $C_{21}$ ) sebesar 6500 N.s/m dan pegas ( $K_{22}$ ) sebesar 32.500 N/m serta damper ( $C_{22}$ ) sebesar 6500 N.s/m yang mana nilai dari parameter massa, pegas, serta damper pada sistem isolasi *Dual DVA* ini bernilai sama konstantanya satu sama lain. Pada pengkombinasian nilai dari parameter ini dapat meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,665 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 21,36% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,584 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 16,05%.

Gambar 4.13 merupakan respon perbandingan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) yang dikombinasikan dengan pegas ( $K_{21}$ ) sebesar 32.500 N/m serta damper ( $C_{21}$ ) sebesar 6500 N.s/m dan pegas ( $K_{22}$ ) sebesar 35.000 N/m serta damper ( $C_{22}$ ) sebesar 7000 N.s/m dimana pada pengkombinasian nilai dari parameter ini dapat meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,672 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 21,27% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,56 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 16,83%.




Pada pengkombinasian konstanta pegas  $K_{21}= 32.500$  N/m serta damper  $C_{21}= 6500$  N.s/m dan  $K_{22}= 29.000$  N/m serta damper  $C_{22}= 5800$  N.s/m ternyata memiliki respon redaman yang terbaik dari ketiga variasi pegas dan damper yang digunakan pada variasi pemilihan massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) sebesar 391,923 kg guna mendapatkan respon peredaman getaran mekanis yang terbaik pada Sistem *Dual DVA*. Hasil simulasi pada perbandingan variasi massa yang terbaik pada Sistem *Dual DVA* ini kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi dari respon peredaman terbaik pada Sistem *Single DVA* dimana grafik dari perbandingan respon *displacement* dari masing-masing sistem isolasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



**Gambar 4.14** Respon Perbandingan *Displacement Single DVA* dan *Dual DVA* pada Variasi Massa



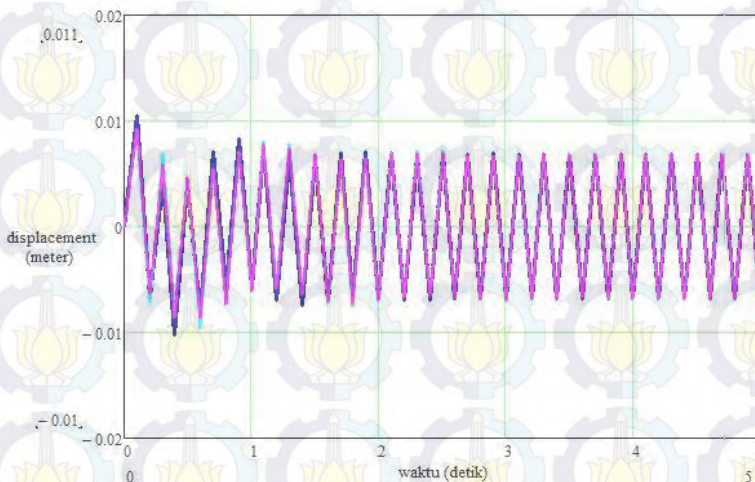
### Keterangan :

-  : displacement tanpa DVA
-  : displacement single DVA terbaik
-  : displacement dual DVA dengan variasi massa terbaik

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) peredaman getaran mekanis menggunakan Sistem *Dual DVA* ini massa yang digunakan pada sistem peredamnya bernilai 50% dari nilai massa yang telah digunakan pada Sistem *Single DVA* sehingga sepuluh variasi nilai massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) pada Sistem *Dual DVA* ini secara keseluruhan adalah setengah dari nilai massa ( $M_1$ ) Sistem *Single DVA* yang dikombinasikan secara acak dengan tiga variasi pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) yang nilainya berkisar sama dengan konstanta pegas ( $K_1$ ) pada Sistem *Single DVA*.

Pada Gambar 4.14 merupakan grafik respon perbandingan dari sistem isolasi terhadap getaran mekanis yang ditimbulkan oleh mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single DVA* terbaik dan Sistem *Dual DVA* pada pemilihan variasi massa terbaik, yaitu  $M_{21}=M_{22}$  sebesar 391,923 kg. Pada Sistem *Single DVA* mampu meredam *maximal overshoot* sebesar  $5,031 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,16% dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,943 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 4,39%. Sedangkan pada variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) *Dual DVA* yang mampu meredam getaran mekanis yang terbaik ini hanya mampu meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,664 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 21,38% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,554 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 17,02%. Dari perbandingan nilai peredaman ini dapat diketahui bahwa pemilihan variasi massa terbaik pada Sistem *Dual DVA* saja ternyata belum mampu dan belum cukup untuk meredam getaran mekanis dengan lebih baik jika dibandingkan dengan Sistem *Single DVA* dengan pengkombinasian parameter terbaiknya

sehingga Sistem *Single DVA* lebih mampu meredam getaran mekanis dari sistem primer pada penambahan variasi massa. Waktu osilasi yang dibutuhkan Sistem *Dual DVA* untuk mencapai kestabilan hampir sama dengan Sistem *Single DVA* yakni  $\pm 5$  detik. Dengan demikian peredaman mesin sentrifugal menggunakan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) pada Sistem *Dual DVA* dapat dilakukan dengan memperbesar beban pada sistem tersebut dengan tidak melebihi berat atau massa yang digunakan dalam peredaman menggunakan Sistem *Single DVA* ( $M_1$ ).



**Gambar 4.15** Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Massa Sistem *Single DVA* dan *Dual DVA*

Keterangan :

- : kecepatan tanpa DVA
- : kecepatan single DVA terbaik
- : kecepatan dual DVA dengan variasi massa terbaik

Gambar 4.15 merupakan grafik dari respon kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal setelah diredam

getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* dengan parameter terbaik dan Sistem *Dual DVA* dengan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) terbaik yaitu 391,923 kg dimana pada respon kecepatan ini kecepatan menggunakan Sistem *Single DVA* lebih kecil jika dibandingkan dengan Sistem *Dual DVA* dengan variasi massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) terbaik, hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari respon *displacement* terhadap respon kecepatan sehingga berpengaruh secara signifikan.

#### 4.3.2 Variasi Pegas ( $K_{21}$ dan $K_{22}$ ) pada Sistem *Dual DVA*

Pada variasi pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual DVA* divariasikan dan dipilih secara acak menjadi dua puluh variasi (10.000 N/m; 25.000 N/m; 50.000 N/m; 55.000 N/m; 60.000 N/m; 65.000 N/m; 70.000 N/m; 72.500 N/m; 75.000 N/m; 80.000 N/m; 82.500 N/m; 87.500 N/m; 90.000 N/m; 92.500 N/m; 95.000 N/m; 97.500 N/m; 100.000 N/m; 110.000 N/m; dan 125.000 N/m) dengan pemilihan massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) sebesar 391,923 kg dimana merupakan massa yang mampu meredam getaran dari mesin sentrifugal yang terbaik, sedangkan untuk pemilihan konstanta damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  dipilih secara acak dimana pemilihan nilai konstanta damper ini diambil dari nilai konstanta damper  $C_1$ , yaitu 2500 N.s/m; 5000 N.s/m; 7500 N.s/m; 10.000 N.s/m; dan 15.000 N.s/m yang kemudian divariasikan menjadi tiga parameter pemilihan nilai dengan catatan nilai dari parameter massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) dan konstanta damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) tidak berubah selama variasi konstanta pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) disimulasikan. Adapun beberapa variasi pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) bagi peredaman menggunakan Sistem *Dual DVA* ini dibagi menjadi tiga parameter penentuan, yaitu :

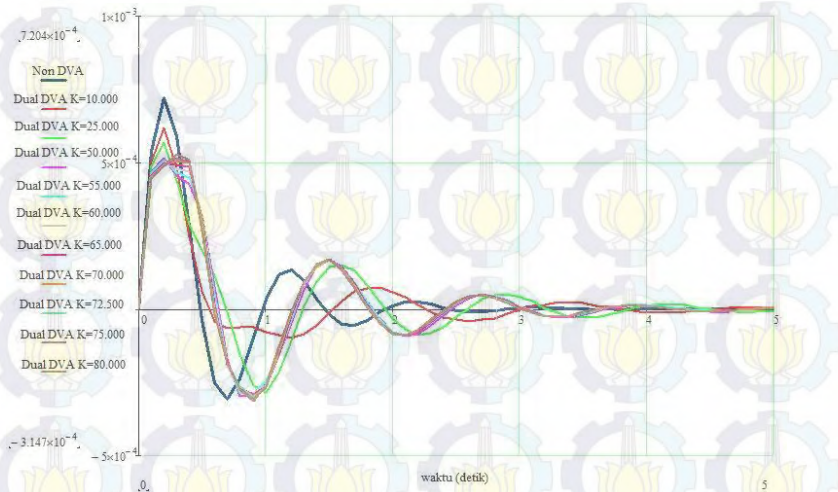
- Kombinasi parameter nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  bernilai sama dari nilai parameter pegas *Single DVA*, sehingga untuk parameter konstanta damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  juga bernilai sama besarnya.
- Kombinasi parameter nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  tidak sama, yaitu dengan perbandingan  $K_{21} : K_{22} = 30\% : 70\%$  dari nilai parameter pegas *Single DVA*, sehingga parameter konstanta



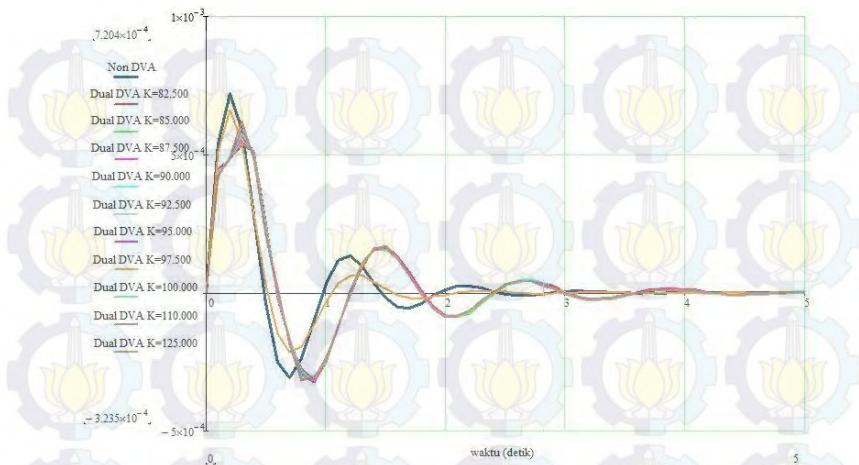
damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  mengikuti perbandingan dari konstanta pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang digunakan.

- Kombinasi parameter nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  tidak sama dengan perbandingan  $K_{21} : K_{22} = 30\% : 70\%$  dari nilai parameter pegas *Single DVA*, sedangkan parameter konstanta damper  $C_{21}$  dikombinasikan dengan  $K_{22}$  dan nilai damper  $C_{22}$  dikombinasikan dengan  $K_{21}$  mengikuti perbandingan dari konstanta pegas yang digunakan.

Dari ketiga kombinasi pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  ini maka dapat dilakukan simulasi peredaman getaran mekanis dari sistem primer mesin sentrifugal agar diketahui perbandingan respon perpindahan (*displacement*) yang paling stabil menggunakan Sistem *Dual DVA* sehingga dapat dibandingkan dengan peredaman menggunakan Sistem *Single DVA*. Adapun respon perbandingan peredaman terbaik dari ketiga variasi penentuan kombinasi pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) ini dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



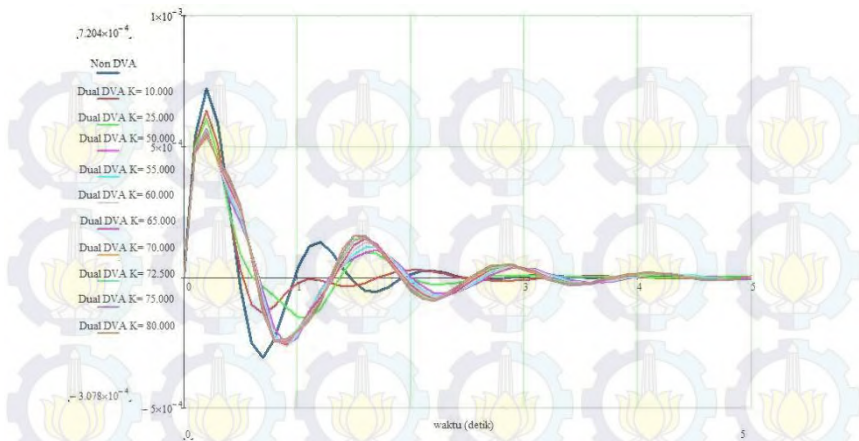
**Gambar 4.16** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 1 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=10.000$  N/m hingga  $K_1=80.000$  N/m



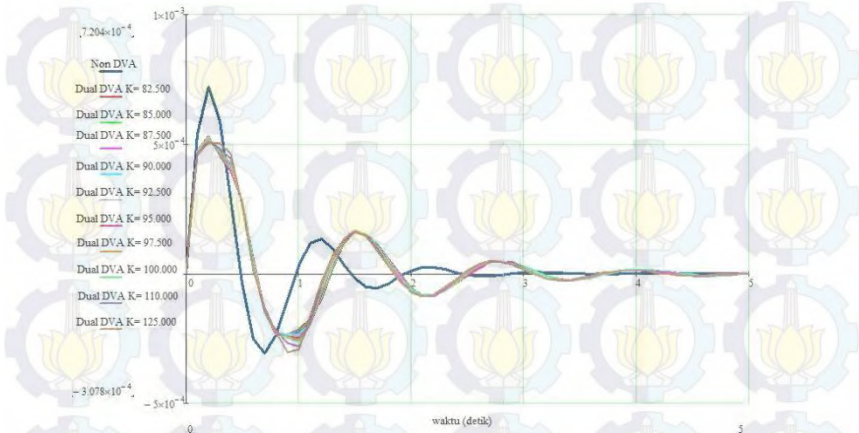
**Gambar 4.17** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 1 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=82.500$  N/m hingga  $K_1=125.000$  N/m

Pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 diatas merupakan perbandingan dari dua puluh variasi pegas dengan kombinasi 1 dari kemungkinan pegas yang dapat dilakukan pada Sistem *Dual DVA* dimana pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  memiliki nilai konstanta yang sama besarnya, yaitu  $K_{21}= 65.000$  N/m dan pegas  $K_{22}= 65.000$  N/m dengan pemasangan variasi damper yang berbeda, yaitu  $C_{21}= 1250$  N.s/m dan  $C_{22}= 750$  N.s/m sehingga dapat diketahui bahwa pemberian konstanta pegas mulai dari  $10.000$  N/m hingga  $125.000$  N/m ini semakin lama semakin dapat meredam amplitudo dari respon *displacement*. Pada kombinasi 1 variasi pegas ini ternyata mampu meredam respon *displacement* dengan *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $4,974 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,96% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,915 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 5,30%.


























**Gambar 4.18** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 2 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=10.000$  N/m hingga  $K_1=80.000$  N/m



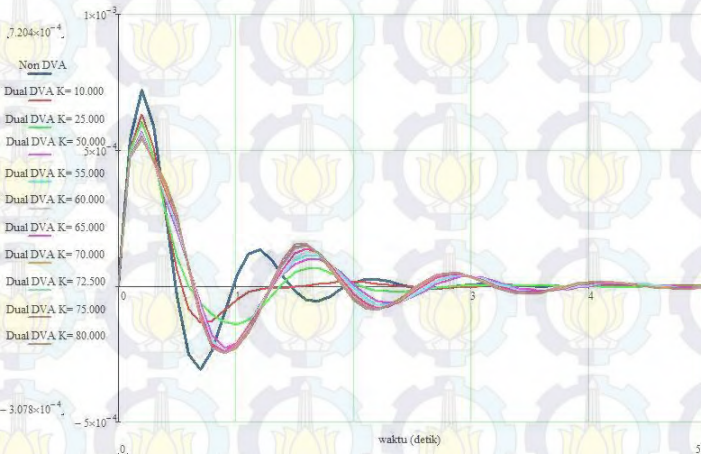
**Gambar 4.19** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 2 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=82.500$  N/m hingga  $K_1=125.000$  N/m

Keterangan :

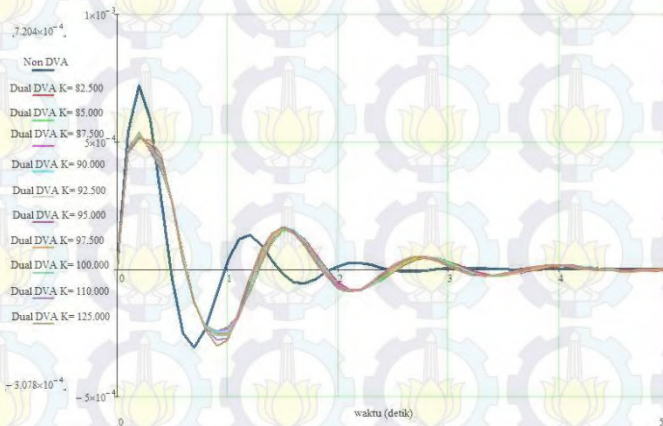
-  : displacement tanpa DVA
-  : displacement dual DVA variasi pegas 1
-  : displacement dual DVA variasi pegas 2
-  : displacement dual DVA variasi pegas 3
-  : displacement dual DVA variasi pegas 4
-  : displacement dual DVA variasi pegas 5
-  : displacement dual DVA variasi pegas 6
-  : displacement dual DVA variasi pegas 7
-  : displacement dual DVA variasi pegas 8
-  : displacement dual DVA variasi pegas 9
-  : displacement dual DVA variasi pegas 10
-  : displacement dual DVA variasi pegas 11
-  : displacement dual DVA variasi pegas 12
-  : displacement dual DVA variasi pegas 13
-  : displacement dual DVA variasi pegas 14
-  : displacement dual DVA variasi pegas 15
-  : displacement dual DVA variasi pegas 16
-  : displacement dual DVA variasi pegas 17
-  : displacement dual DVA variasi pegas 18
-  : displacement dual DVA variasi pegas 19
-  : displacement dual DVA variasi pegas 20

Pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 di atas merupakan perbandingan dari dua puluh variasi pegas dengan kombinasi 2 dari kemungkinan pegas yang dapat dilakukan pada Sistem *Dual DVA* dimana pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  memiliki nilai konstanta yang sama berbeda satu sama lain seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Peredaman respon *displacement* terbaik pada kombinasi 2 ini adalah dengan pemasangan pegas  $K_{21}$  sebesar 37.500 N/m dan pegas  $K_{22}$  sebesar 87.500 N/m bersamaan dengan damper  $C_{21}$  sebesar 1250 N.s/m dan damper  $C_{22}$  sebesar 750 N.s/m. Pada kombinasi 2 variasi pegas ini ternyata mampu meredam respon *displacement* dengan *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,069 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 29,64% dan pada *minimal*

overshoot sebesar  $-3,049 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 0,49%.



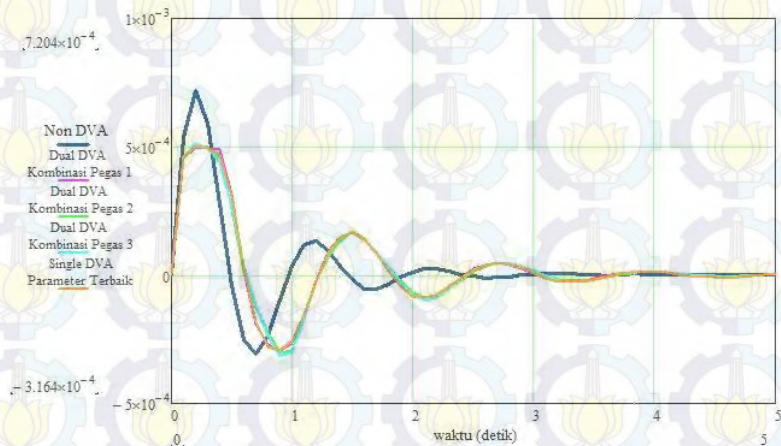
**Gambar 4.20** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 3 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=10.000$  N/m hingga  $K_1=80.000$  N/m



**Gambar 4.21** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 3 Variasi Pegas pada Sistem *Dual DVA* dengan Nilai  $K_1=82.500$  N/m hingga  $K_1=125.000$  N/m



Pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 di atas merupakan perbandingan dari dua puluh variasi pegas dengan kombinasi 3 dari kemungkinan pegas yang dapat dilakukan pada Sistem *Dual DVA* dimana pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  memiliki nilai konstanta yang sama berbeda satu sama lain seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Peredaman respon *displacement* terbaik pada kombinasi 3 ini adalah dengan pemasangan pegas  $K_{21}$  sebesar 37.500 N/m dan pegas  $K_{22}$  sebesar 87.500 N/m bersamaan dengan damper  $C_{21}$  sebesar 1250 N.s/m dan damper  $C_{22}$  sebesar 1250 N.s/m. Pada kombinasi 3 variasi pegas ini tetap mempertahankan besarnya nilai pegas dari kombinasi 2 sebelumnya, hanya saja pemasangan dampernya ditukar sehingga memiliki pengkombinasian variabel nilai yang berbeda untuk melihat perubahan amplitudo terhadap respon *displacement* yang terjadi dan ternyata mampu meredam respon *displacement* dengan *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,12 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 28,93% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-3,001 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 2,50%.



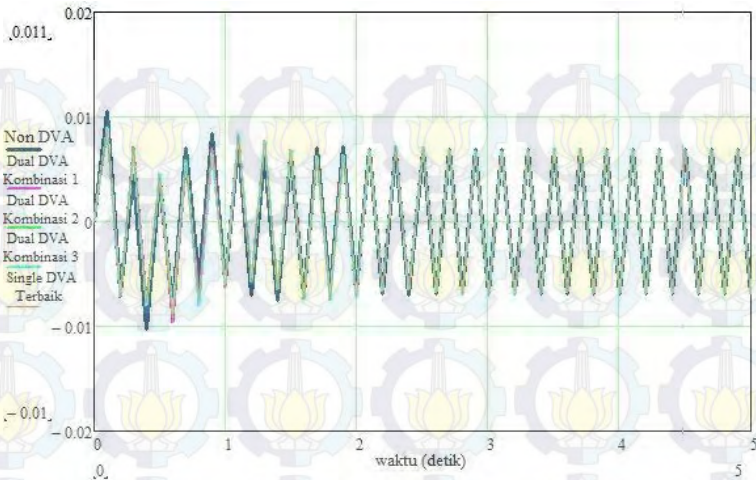
**Gambar 4.22** Respon Perbandingan *Displacement Single DVA* dan *Dual DVA* pada Variasi Pegas

## Keterangan :

-  : displacement tanpa DVA
-  : displacement dualDVA kombinasi 1 terbaik
-  : displacement dual DVA kombinasi 2 terbaik
-  : displacement dual DVA kombinasi 3 terbaik
-  : displacementSingleDVA terbaik

Pada Gambar 4.22 merupakan grafik perbandingan respon perpindahan (*displacement*) dari sistem primer dan Sistem *Single DVA* dengan variasi konstanta pegas ( $K_1$ ) peredaman terbaik yang dibandingkan dengan ketiga kombinasi penentuan parameter pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) terbaik. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa konstanta pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) yang bernilai sama dan seimbang dapat meredam secara maksimal dimana konstanta nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  sama-sama bernilai 65.000 N/m dengan kombinasi damper  $C_{21}$  1250 N.s/m dan damper  $C_{22}$  750 N.s/m sehingga dapat meredam getaran mekanis dari sistem primer dimana nilai *maximal overshoot*-nya sebesar  $4,975 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 30,96% dan *minimal overshoot*-nya sebesar  $-2,915 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 5,30%. Sedangkan waktu yang dibutuhkan mesin sentrifugal yang diredam getaran mekanisnya menggunakan Sistem *Dual DVA* dengan variasi konstanta pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) ini untuk mencapai keadaan stabil membutuhkan waktu selama  $\pm 5$  detik.

Dari hasil simulasi kombinasi pegas ini dapat diketahui bahwa perbandingan besarnya nilai parameter pegas dapat mempengaruhi kesetimbangan dari konstruksi mesin yang akan diredam getarannya dimana jika komponen DVA tidak seimbang maka bisa jadi akan menimbulkan getaran lain yang tidak diharapkan dan dapat terjadi *over damping* sehingga Sistem *Dual DVA* ini berbeda dengan penggunaan Sistem *Single DVA*.



**Gambar 4.23** Respon Perbandingan Kecepatan *Single DVA* dan *Dual DVA* pada Variasi Pegas

Keterangan :

- : kecepatan tanpa DVA
- : kecepatan dual DVA kombinasi 1 terbaik
- : kecepatan dual DVA kombinasi 2 terbaik
- : kecepatan dual DVA kombinasi 3 terbaik
- : kecepatan Single DVA terbaik

Gambar 4.23 merupakan grafik dari respon kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal setelah diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* dengan parameter terbaik dan Sistem *Dual DVA* dengan kombinasi dari variasi pegas terbaik dimana pada respon kecepatan ini kecepatan menggunakan Sistem *Single DVA* lebih kecil jika dibandingkan dengan Sistem *Dual DVA* dengan variasi pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  terbaik, hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari respon *displacement* terhadap respon kecepatan sehingga berpengaruh secara signifikan.

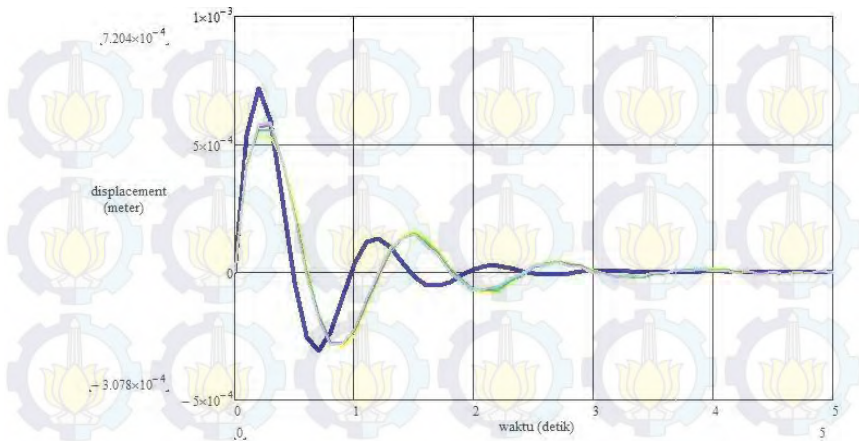


#### 4.3.3 Variasi Damper ( $C_{21}$ dan $C_{22}$ ) pada Sistem *Dual DVA*

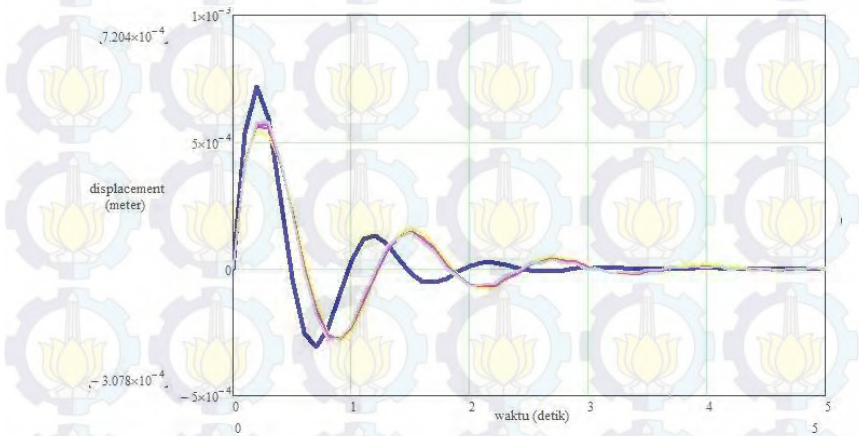
Pada variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  peredaman getaran menggunakan Sistem *Dual DVA* divariasikan sebanyak lima variasi damper (5%; 10%; 15%; 20%; dan 25%) yang mana nilai damper yang digunakan berasal dari masing-masing pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  (10.000 N/m; 25.000 N/m; 50.000 N/m; 55.000 N/m; 60.000 N/m; 65.000 N/m; 70.000 N/m; 72.500 N/m; 75.000 N/m; 80.000 N/m; 82.500 N/m; 87.500 N/m; 90.000 N/m; 92.500 N/m; 95.000 N/m; 97.500 N/m; 100.000 N/m; 110.000 N/m; dan 125.000 N/m) dengan dua kombinasi kemungkinan yang dapat digunakan untuk meredam getaran mekanis untuk mendapatkan respon peredaman yang terbaik. Kedua kombinasi yang memungkinkan ini antara lain :

- Kombinasi parameter  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang bernilai sama dengan konstanta pegas yang digunakan, yaitu  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  bernilai sama agar konstruksi dari Sistem *Dual DVA* seimbang.
- Kombinasi parameter  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang memiliki perbedaan nilai akibat tidak samanya parameter nilai  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang divariasikan pada point sebelumnya, yaitu perbandingan  $K_{21}:K_{22} = 30\% : 70\%$  sehingga berakibat terjadinya perbedaan konstanta pada  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  sehingga sistem menjadi tidak seimbang.

Variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang digunakan ini besar konstantanya diambil dari persentase kemungkinan yang dapat dikombinasikan dengan variasi pegas sebelumnya, yaitu 5% ; 10% ; 15% ; 20%; dan 25%. Berdasarkan variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  maka dapat diolah dan dibuat grafik perbandingan respon peredaman dari perpindahan (*displacement*) menggunakan beberapa variasi damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) yang dapat meredam *maximal overshoot* maupun *minimal overshoot* amplitudo dari getaran mekanis sistem primer yang terbaik. Pemilihan kombinasi konstanta nilai dari damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) serta pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) ini tentunya tidak lepas dari faktor kenyamanan yang diinginkan, yaitu pencarian nilai dari respon perpindahan (*displacement*) amplitudo melalui hasil respon yang terkecil untuk mencapai kestabilan sistem.





**Gambar 4.24** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 1 Variasi Damper pada Sistem *Dual DVA*



**Gambar 4.25** Respon Perbandingan *Displacement* Kombinasi 2 Variasi Damper pada Sistem *Dual DVA*



## Keterangan :

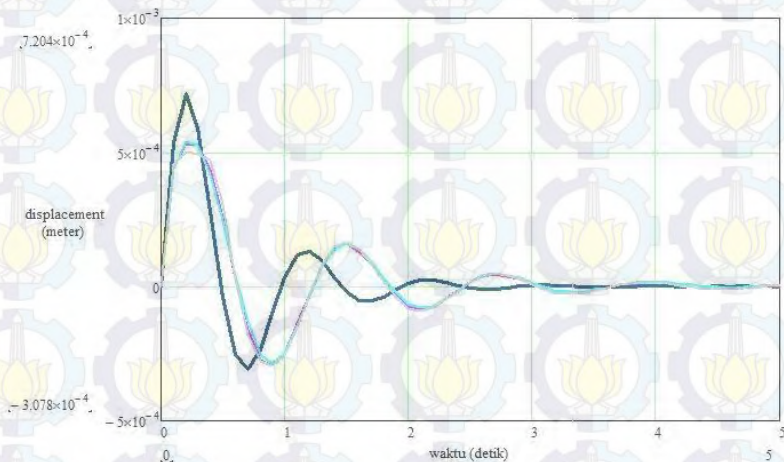
-  : displacement tanpa DVA
-  : displacement dual DVA variasi damper 1
-  : displacement dual DVA variasi damper 2
-  : displacement dual DVA variasi damper 3
-  : displacement dual DVA variasi damper 4
-  : displacement dual DVA variasi damper 5

Dari kedua gambar di atas dapat dilihat bahwa peredaman pada respon *displacement* yang terbaik adalah pada pemilihan konstanta damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang bernilai sama, yaitu 5% dari nilai konstanta pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang digunakan masing-masing sebesar 60.000 N/m dengan massa  $M_{21}=M_{22}$  sebesar 391,923 kg. Pada Gambar 4.24 Merupakan perbandingan dari respon variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang bernilai sama dengan beberapa persentase damper yang memungkinkan yang dikombinasikan dengan pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang bernilai sama dimana masing-masing sebesar 60.000 N/m. Pada kombinasi damper variasi 1 ini dapat diketahui bahwa respon peredaman terbaik adalah dengan pemilihan damper sebesar 5% dari nilai pegas yang digunakan sehingga dapat meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,309 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 26,30% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,947 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 4,26%.

Gambar 4.25 Merupakan respon perbandingan variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang nilainya berbeda dimana besarnya nilai dari persentase damper yang memungkinkan ini dikombinasikan dengan pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang nilainya berbeda, yaitu  $K_{21}=37.500$  N/m dan  $K_{22}=87.500$  N/m. Pada kombinasi damper variasi 2 ini dapat diketahui bahwa respon peredaman terbaik adalah dengan pemilihan damper sebesar 5% dari nilai pegas yang digunakan, yaitu  $C_{21}=1875$  N.s/m dan  $C_{22}=4375$  N.s/m sehingga meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,409 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar

24,92% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,856 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 7,21%.

Pada variasi 1 dan variasi 2 pada pemilihan damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang memungkinkan ini memiliki nilai serta persentase peredaman yang terbaik pada masing-masing variasinya, dimana pada kedua variasi ini memiliki respon terbaik pada kemungkinan pemilihan nilai konstanta damper sebesar 5% dengan nilai konstanta pegas yang berbeda. Kedua respon terbaik ini kemudian dibandingkan dengan getaran mekanis yang terjadi pada sistem primer dan Sistem *Single DVA* guna melihat perbandingan respon terbaiknya dan dapat dilihat pada Gambar 4.26



**Gambar 4.26** Respon Perbandingan Displacement pada Variasi Damper Sistem *Single DVA* dan *Dual DVA*

Keterangan :

- : displacement tanpa DVA
- : displacement dual DVA variasi 1 damper 5%
- : displacement dual DVA variasi 2 damper 5%
- : displacement single DVA terbaik

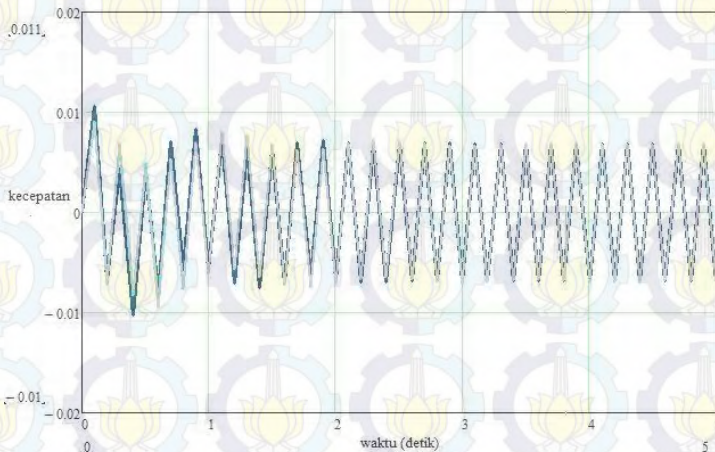
Gambar 4.26 Merupakan perbandingan respon *displacement* antara respon terbaik variasi 1 dan variasi 2 pada damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  dengan Sistem *Single DVA* dengan parameter terbaik. Dari kedua variasi pengkombinasian damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  yang memungkinkan ini respon peredaman terbaik didapatkan oleh pemilihan damper ( $C_{21}, C_{22}$ ) dan pegas ( $K_{21}, K_{22}$ ) yang masing-masing bernilai sama, yaitu pada variasi 1 dimana pegas  $K_{21}=K_{22}= 60.000 \text{ N/m}$  dan  $C_{21}=C_{22}= 3000 \text{ N.s/m}$ . Dari respon perbandingan sistem isolasi terhadap getaran mekanis yang ditimbulkan oleh mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single DVA* terbaik dan Sistem *Dual DVA* pada pemilihan variasi damper terbaik, yaitu 5% dari nilai konstanta pegas yang digunakan. Pada Sistem *Single DVA* mampu meredam *maximal overshoot* sebesar  $5,031 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,16% dan *minimal overshoot* sebesar  $-2,943 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 4,39%. Sedangkan pada variasi damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) *Dual DVA* yang mampu meredam getaran mekanis yang terbaik ini hanya mampu meredam *maximal overshoot* getaran dari sistem primer sebesar  $5,309 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 26,30% dan pada *minimal overshoot* sebesar  $-2,947 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 4,26%. Dari perbandingan nilai peredaman ini dapat diketahui bahwa pemilihan variasi damper terbaik pada Sistem *Dual DVA* saja tidaklah cukup, hal ini dikarenakan penambahan persentase pemilihan damper ( $C_{21}=C_{22}$ ) yang memungkinkan untuk mereduksi getaran mekanis dari mesin sentrifugal berpengaruh terhadap besarnya amplitudo simpangan yang dihasilkan, dimana jika semakin kecil pemilihan persentase damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) yang diberikan terhadap sistem primer dengan ketentuan penambahan variasi pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) dari variasi pegas sebelumnya justru dapat mereduksi amplitudo dari respon perpindahan (*displacement*) sistem primer secara lebih baik jika dibandingkan dengan pemilihan persentase damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) yang semakin besar sehingga apabila damper memiliki konstanta yang hampir mengimbangi nilai dari konstanta pegas akan mengakibatkan getaran pada sistem primer meningkat.



Waktu yang dibutuhkan mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual DVA* ini untuk mencapai keadaan stabil membutuhkan waktu selama  $\pm 5$  detik.





Pada kombinasi pegas dan damper yang tidak seimbang sebenarnya juga dapat meredam respon perpindahan yang terjadi, hanya saja nilai serta persentasenya menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan peredaman menggunakan Sistem *Single DVA*. Dari berbagai simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pemilihan damper tidak boleh lebih besar dari pegas yang digunakan karena dapat menyebabkan terjadinya *over damping* pada sistem primernya dan dapat menimbulkan kerusakan struktur selain dari gaya eksentris yang dimiliki mesin sentrifugal itu sendiri.

Secara teoritis, pemilihan damper sebagai kombinasi dan penyeimbang pegas bernilai 20% dari konstanta pegas yang digunakan. Akan tetapi pada simulasi peredaman getaran mekanis yang telah dilakukan, pemberian damper yang semakin besar justru mengakibatkan semakin besarnya amplitudo dari *displacement* yang diharapkan.



**Gambar 4.27** Respon Perbandingan Kecepatan pada Variasi Damper Sistem *Single DVA* dan *Dual DVA*

Keterangan :

-  : kecepatan tanpa DVA
-  : kecepatan dual DVA variasi 1 damper 5%
-  : kecepatan dual DVA variasi 2 damper 5%
-  : kecepatan single DVA terbaik

Gambar 4.27 merupakan grafik dari respon kecepatan getaran yang dialami oleh mesin sentrifugal setelah diredam getarannya menggunakan Sistem *Single DVA* dengan parameter terbaik dan Sistem *Dual DVA* dengan kombinasi dari variasi damper terbaik dimana pada respon kecepatan ini kecepatan menggunakan Sistem *Single DVA* lebih kecil jika dibandingkan dengan Sistem *Dual DVA* dengan variasi damper  $C_{21}$  dan  $C_{22}$  terbaik, hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari respon *displacement* terhadap respon kecepatan sehingga berpengaruh secara signifikan.

Pemilihan nilai konstanta massa ( $M_{21}=M_{22}$ ), pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ) serta damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) pada peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual DVA* yang dilakukan melalui simulasi guna mendapatkan hasil respon peredaman getaran mekanis yang terbaik dan optimal ini mendapatkan berbagai macam nilai serta persentase peredaman yang bervariasi pula, sehingga pada simulasi peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* ini memiliki peredaman terbaik yang stabil pada *maximal* dan *minimal overshoot*-nya ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut ini.

**Tabel 4.8** Parameter dan Persentase Redaman Terbaik pada Sistem *Dual DVA*

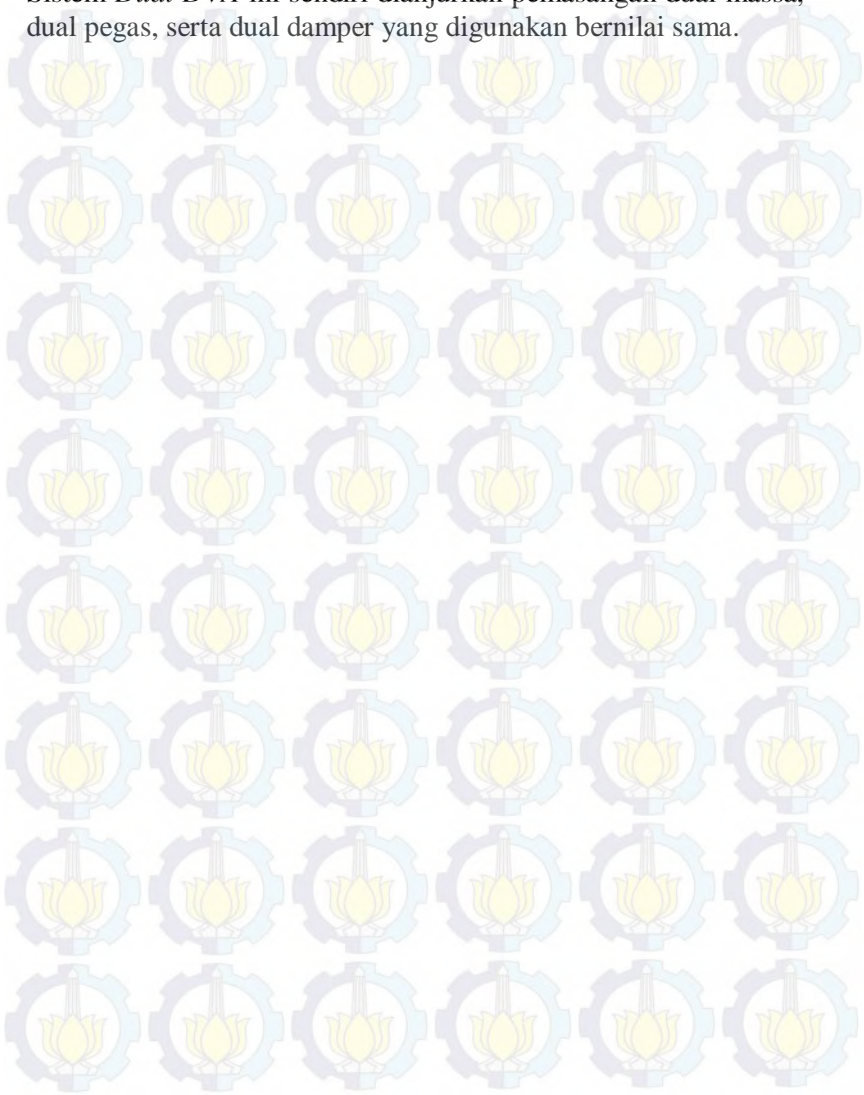
Displacement Tanpa DVA (m)	Parameter <i>Dual DVA</i>			
	Massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) (kg)	Pegas ( $K_{21}=K_{22}$ ) (N/m)	Damper ( $C_{21}$ ) (N.s/m)	Damper ( $C_{22}$ ) (N.s/m)
$7,204 \times 10^{-4}$	391,923	65.000	1250	750

Pada Tabel 4.8 menunjukkan parameter pengkombinasian terbaik antara massa ( $M_{21}=M_{22}$ ), pegas ( $K_{21}=K_{22}$ ), dan damper ( $C_{21}, C_{22}$ ) yang mampu meredam getaran mekanis dari mesin sentrifugal yang memiliki *maximal overshoot* sebesar  $7,204 \times 10^{-4}$  meter dan *minimal overshoot* sebesar  $-3,078 \times 10^{-4}$  meter sehingga respon perpindahan yang dihasilkan setelah diredam getarannya memiliki *maximal overshoot*  $4,975 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,96% serta redaman *minimal overshoot*  $-2,915 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 5,30%. Dengan demikian sistem mesin rotasi ini mampu bekerja secara optimal sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada struktur mesinnya.

Pemilihan nilai konstanta massa ( $M_{21}=M_{22}$ ), pegas ( $K_{21}$  dan  $K_{22}$ ), dan damper ( $C_{21}$  dan  $C_{22}$ ) menggunakan Sistem *Dual DVA* yang dilakukan melalui simulasi guna mendapatkan hasil respon peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal yang terbaik dan optimal ini mendapatkan berbagai macam nilai serta persentase peredaman yang bervariasi pula, sehingga pada simulasi peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* ini dapat meredam lebih baik dan lebih unggul jika dibandingkan dengan menggunakan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*. Selain dapat meredam lebih baik, Sistem *Dual DVA* ini dapat dikatakan memiliki karakteristik yang tidak hanya dapat meredam lebih baik, tetapi posisi serta peletakan dari konstruksinya sendiri menentukan pengaruh terhadap besar atau



kecilnya peredaman. Untuk peredaman maksimal dari konstruksi Sistem *Dual DVA* ini sendiri dianjurkan pemasangan dual massa, dual pegas, serta dual damper yang digunakan bernilai sama.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

#### 5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan menggunakan metode *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* dan *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* akan menghasilkan parameter pemilihan massa, pegas, dan damper yang berbeda pula dalam persentase redaman yang dapat terjadi.
2. Parameter peredaman terbaik pada peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)* adalah dengan penggunaan massa ( $M_1$ ) sebesar 783,845 kg, pegas ( $K_1$ ) sebesar 125.000 N/m, dan damper ( $C_1$ ) sebesar 2500 N.s/m yang mampu meredam amplitudo dari respon perpindahan (*displacement*) dengan *maximal overshoot*  $5,031 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,16% dan *minimal overshoot*  $-2,943 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 4,39%.
3. Parameter peredaman terbaik pada peredaman getaran mekanis mesin sentrifugal menggunakan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)* adalah dengan penggunaan massa ( $M_{21}=M_{22}$ ) sebesar 391,923 kg, pegas  $K_{21}$  dan  $K_{22}$  yang masing-masing besarnya 65.000 N/m, serta damper  $C_{21}$  sebesar 1250 N.s/m, damper  $C_{22}$  sebesar 750 N.s/m yang mampu meredam amplitudo dari respon perpindahan (*displacement*) dengan *maximal overshoot*  $4,975 \times 10^{-4}$  meter atau dengan persentase redaman sebesar 30,96% dan *minimal overshoot*  $-2,915 \times 10^{-4}$  meter dengan persentase redaman sebesar 5,30%.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis agar penelitian ini dapat berjalan lebih baik kedepannya sebaiknya penentuan parameter pemilihan parameter yang digunakan dipelajari lebih lanjut dan pengambilan data simulasi getaran dilakukan dengan *range* yang lebih teratur dan lebih banyak sehingga dapat dibuat suatu grafik untuk dapat mengetahui karakteristik *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* yang mampu meredam lebih optimal.

## LAMPIRAN A

### LISTING PROGRAM MATHCAD 14.0

#### A.1 Listing Program Mesin Sentrifugal Tanpa Sistem *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

- Persamaan Model Matematis Sistem :

$$M_p \cdot X_{pdd} + 2 \cdot (C_p \cdot X_{pd}) + 2 \cdot (K_p \cdot X_p) = F(t)$$

- State Space* Ditinjau dari Sistem Primer ( $M_p$ ) :

$$u = X_p \qquad u_d = X_{pd} \qquad v = X_{pd}$$

$$v_d = X_{pdd} = \frac{1}{M_p} \cdot [F - [2 \cdot (C_p \cdot X_{pd})] - [2 \cdot (K_p \cdot X_p)]]$$

- Matriks *State Space* Tanpa DVA :

$$\begin{pmatrix} u_d \\ v_d \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-2 \cdot (K_p \cdot X_p)}{M_p} & \frac{-2 \cdot (C_p \cdot X_{pd})}{M_p} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_p \\ X_{pd} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ F \end{pmatrix}$$

$$A(t) := \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-2 \cdot (K_p)}{M_p} & \frac{-2 \cdot (C_p)}{M_p} \end{bmatrix}$$

$$B(t) := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad u(t) := \begin{pmatrix} 0 \\ F(t) \end{pmatrix} \qquad x_0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$t_0 := 0 \qquad t_1 := 10 \qquad npoint := 100$$

A-2

`sol:=statespac(x0,t0,t1,npoint,A,B,u)`

sol =

	0	1	2
0	0	0	0
1	0.1	$5.376 \cdot 10^{-4}$	0.011
2	0.2	$7.204 \cdot 10^{-4}$	$-6.754 \cdot 10^{-3}$
3	0.3	$5.907 \cdot 10^{-4}$	$4.365 \cdot 10^{-3}$
4	0.4	$2.803 \cdot 10^{-4}$	-0.01
5	0.5	$-3.876 \cdot 10^{-5}$	$4.036 \cdot 10^{-3}$
6	0.6	$-2.525 \cdot 10^{-4}$	$-8.209 \cdot 10^{-3}$
7	0.7	$-3.078 \cdot 10^{-4}$	$7.015 \cdot 10^{-3}$
8	0.8	$-2.375 \cdot 10^{-4}$	$-5.685 \cdot 10^{-3}$
9	0.9	$-9.816 \cdot 10^{-5}$	$8.318 \cdot 10^{-3}$
10	1	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$-5.72 \cdot 10^{-3}$
11	1.1	$1.181 \cdot 10^{-4}$	$7.351 \cdot 10^{-3}$
12	1.2	$1.327 \cdot 10^{-4}$	$-6.997 \cdot 10^{-3}$
13	1.3	$9.757 \cdot 10^{-5}$	$6.308 \cdot 10^{-3}$
14	1.4	$3.506 \cdot 10^{-5}$	$-7.476 \cdot 10^{-3}$
15	1.5	$-1.889 \cdot 10^{-5}$	...

## A.2 Listing Program Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Single Dynamic Vibration Absorber (Single DVA)*

- Persamaan Model Matematis Sistem :

$$M_p \cdot X_{pdd} + 2 \cdot [C_p \cdot (X_{pd} - 0)] + 2 \cdot [K_p \cdot (X_p - 0)] + C_1 \cdot (X_{pd} - X_{1d}) + K_1 \cdot (X_p - X_1) = F(t)$$

$$M_1 \cdot X_{1dd} + C_1 \cdot (X_{1d} - X_{pd}) + K_1 \cdot (X_1 - X_p) = 0$$

- *State Space* Ditinjau dari Sistem Primer ( $M_p$ ) :

$$u = X_p \quad \quad \quad u_d = X_{pd} \quad \quad \quad v = X_{pd}$$

$$v_d = X_{pdd} = \frac{1}{M_p} \cdot [F - [(2 \cdot C_p \cdot X_{pd}) + (2 \cdot K_p \cdot X_p) + [C_1 \cdot (X_{pd} - X_{1d})] + [K_1 \cdot (X_p - X_1)]]]$$

- *State Space* Ditinjau dari Benda 1 ( $M_1$ ) :

$$w = X_1 \quad \quad \quad w_d = X_{1d} \quad \quad \quad x = X_{1d}$$

$$x_d = X_{1dd} = \frac{1}{M_1} \cdot [-[C_1 \cdot (X_{1d} - X_{pd})] + [K_1 \cdot (X_1 - X_p)]]$$

- Matriks *State Space* Single DVA :

$$\begin{pmatrix} u_d \\ v_d \\ w_d \\ x_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-K_1 - 2 \cdot K_p}{M_p} & \frac{-2 \cdot C_p - C_1}{M_p} & \frac{K_1}{M_p} & \frac{C_1}{M_p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_1}{M_1} & \frac{C_1}{M_1} & \frac{-K_1}{M_1} & \frac{-C_1}{M_1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_p \\ X_{pd} \\ X_1 \\ X_{1d} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ F \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



$$A(t) := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-2 \cdot Kp - K1}{Mp} & \frac{-2 \cdot Cp - C1}{Mp} & \frac{K1}{Mp} & \frac{C1}{Mp} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K1}{M1} & \frac{C1}{M1} & \frac{-K1}{M1} & \frac{-C1}{M1} \end{pmatrix}$$

$$B(t) := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad x0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad u(t) := \begin{pmatrix} 0 \\ F(t) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$t0 := 0 \qquad t1 := 10 \qquad npoint := 100$$

$$sol := \text{statespace}(x0,t0,t1,npoint,A,B,u)$$

sol =

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0.1	$5.054 \cdot 10^{-4}$	0.01	$4.201 \cdot 10^{-4}$	$4.961 \cdot 10^{-3}$
2	0.2	$6.883 \cdot 10^{-4}$	$-6.451 \cdot 10^{-3}$	$7.27 \cdot 10^{-4}$	$6.992 \cdot 10^{-4}$
3	0.3	$6.007 \cdot 10^{-4}$	$4.801 \cdot 10^{-3}$	$6.633 \cdot 10^{-4}$	$-1.373 \cdot 10^{-3}$
4	0.4	$3.313 \cdot 10^{-4}$	$-9.871 \cdot 10^{-3}$	$4.177 \cdot 10^{-4}$	$-3.677 \cdot 10^{-3}$
5	0.5	$3.158 \cdot 10^{-5}$	$3.981 \cdot 10^{-3}$	$6.235 \cdot 10^{-5}$	$-2.799 \cdot 10^{-3}$
6	0.6	$-2.041 \cdot 10^{-4}$	$-8.516 \cdot 10^{-3}$	$-1.895 \cdot 10^{-4}$	$-2.515 \cdot 10^{-3}$
7	0.7	$-3.017 \cdot 10^{-4}$	$6.475 \cdot 10^{-3}$	$-3.438 \cdot 10^{-4}$	$-1.575 \cdot 10^{-4}$
8	0.8	$-2.794 \cdot 10^{-4}$	$-6.02 \cdot 10^{-3}$	$-3.118 \cdot 10^{-4}$	$3.171 \cdot 10^{-4}$
9	0.9	$-1.637 \cdot 10^{-4}$	$8.144 \cdot 10^{-3}$	$-2.171 \cdot 10^{-4}$	$1.867 \cdot 10^{-3}$
10	1	$-3.146 \cdot 10^{-5}$	$-5.506 \cdot 10^{-3}$	$-4.46 \cdot 10^{-5}$	$1.075 \cdot 10^{-3}$
11	1.1	$8.213 \cdot 10^{-5}$	$7.645 \cdot 10^{-3}$	$6.439 \cdot 10^{-5}$	$1.447 \cdot 10^{-3}$
12	1.2	$1.312 \cdot 10^{-4}$	$-6.581 \cdot 10^{-3}$	$1.541 \cdot 10^{-4}$	$-6.773 \cdot 10^{-5}$
13	1.3	$1.301 \cdot 10^{-4}$	$6.505 \cdot 10^{-3}$	$1.368 \cdot 10^{-4}$	$1.558 \cdot 10^{-4}$
14	1.4	$7.946 \cdot 10^{-5}$	$-7.388 \cdot 10^{-3}$	$1.103 \cdot 10^{-4}$	$-1.039 \cdot 10^{-3}$
15	1.5	$2.277 \cdot 10^{-5}$	$6.21 \cdot 10^{-3}$	$2.274 \cdot 10^{-5}$	...

### A.3 Listing Program Mesin Sentrifugal dengan Sistem *Dual Dynamic Vibration Absorber (Dual DVA)*

- Persamaan Model Matematis Sistem :

$$M_p \cdot X_{pdd} + 2 \cdot C_p \cdot (X_{pd} - 0) + 2 \cdot K_p \cdot (X_p - 0) + C_1 \cdot (X_{pd} - X_{1d}) + K_1 \cdot (X_p - X_1) + C_2 \cdot (X_{pd} - X_{2d}) + K_2 \cdot (X_p - X_2) = F(t)$$

$$M_1 \cdot X_{1dd} + C_1 \cdot (X_{1d} - X_{pd}) + K_1 \cdot (X_1 - X_p) = 0$$

$$M_2 \cdot X_{2dd} + C_2 \cdot (X_{2d} - X_{pd}) + K_2 \cdot (X_2 - X_p) = 0$$

- *State Space* Ditinjau dari Sistem Primer ( $M_p$ ) :

$$u = X_p \quad u_d = X_{pd} \quad v = X_{pd}$$

$$v_d = X_{pdd} = \frac{1}{M_p} \cdot [F - [(2 \cdot C_p \cdot X_{pd}) + (2 \cdot K_p \cdot X_p) + [C_1 \cdot (X_{pd} - X_{1d})] + [K_1 \cdot (X_p - X_1)] + [C_2 \cdot (X_{pd} - X_{2d})] + [K_2 \cdot (X_p - X_2)]]]$$

- *State Space* Ditinjau dari Benda 21 ( $M_{21}$ ) :

$$w = X_1 \quad w_d = X_{1d} \quad x = X_{1d}$$

$$x_d = X_{1dd} = \frac{1}{M_1} \cdot [-[[C_1 \cdot (X_{1d} - X_{pd})] + [K_1 \cdot (X_1 - X_p)]]]$$

- *State Space* Ditinjau dari Benda 22 ( $M_{21}$ ) :

$$y = X_2 \quad y_d = X_{2d} \quad z = X_{2d}$$

$$z_d = X_{2dd} = \frac{1}{M_2} \cdot [-[[C_2 \cdot (X_{2d} - X_{pd})] + [K_2 \cdot (X_2 - X_p)]]]$$

- Matriks *State Space* Dual DVA :

$$\begin{pmatrix} \dot{u}d \\ \dot{v}d \\ \dot{w}d \\ \dot{x}d \\ \dot{y}d \\ \dot{z}d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-2 \cdot Kp - K1 - K2}{Mp} & \frac{-2 \cdot Cp - C1 - C2}{Mp} & \frac{K1}{Mp} & \frac{C1}{Mp} & \frac{K2}{Mp} & \frac{C2}{Mp} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{K1}{M1} & \frac{C1}{M1} & \frac{-K1}{M1} & \frac{-C1}{M1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K2}{M2} & \frac{C2}{M2} & 0 & 0 & \frac{-K2}{M2} & \frac{-C2}{M2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Xp \\ Xpd \\ X1 \\ X1d \\ X2 \\ X2d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{A(t)}} := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-2 \cdot Kp - K1 - K2}{Mp} & \frac{-2 \cdot Cp - C1 - C2}{Mp} & \frac{K1}{Mp} & \frac{C1}{Mp} & \frac{K2}{Mp} & \frac{C2}{Mp} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{K1}{M1} & \frac{C1}{M1} & \frac{-K1}{M1} & \frac{-C1}{M1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K2}{M2} & \frac{C2}{M2} & 0 & 0 & \frac{-K2}{M2} & \frac{-C2}{M2} \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{B(t)}} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad x0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad u(t) := \begin{pmatrix} 0 \\ F(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$t0 := 0$$

$$t1 := 10$$

$$npoint := 100$$

A-8

$\text{sol} := \text{statespace}(\text{x0}, \text{t0}, \text{t1}, \text{npoint}, \text{A}, \text{B}, \text{u})$

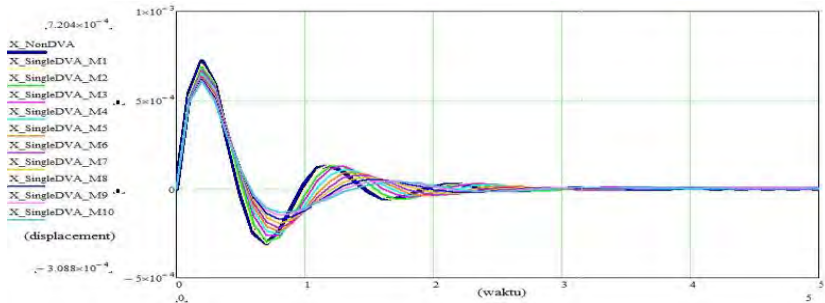
sol =

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0.1	$4.384 \cdot 10^{-4}$	$9.327 \cdot 10^{-3}$	$2.856 \cdot 10^{-4}$	$3.756 \cdot 10^{-3}$
2	0.2	$5.691 \cdot 10^{-4}$	$-6.436 \cdot 10^{-3}$	$5.647 \cdot 10^{-4}$	$1.456 \cdot 10^{-3}$
3	0.3	$5.38 \cdot 10^{-4}$	$5.808 \cdot 10^{-3}$	$6.088 \cdot 10^{-4}$	$-2.619 \cdot 10^{-4}$
4	0.4	$3.891 \cdot 10^{-4}$	$-8.579 \cdot 10^{-3}$	$5.093 \cdot 10^{-4}$	$-1.811 \cdot 10^{-3}$
5	0.5	$2.019 \cdot 10^{-4}$	$4.809 \cdot 10^{-3}$	$2.981 \cdot 10^{-4}$	$-2.092 \cdot 10^{-3}$
6	0.6	$4.637 \cdot 10^{-6}$	$-8.575 \cdot 10^{-3}$	$8.408 \cdot 10^{-5}$	$-2.307 \cdot 10^{-3}$
7	0.7	$-1.406 \cdot 10^{-4}$	$5.596 \cdot 10^{-3}$	$-1.208 \cdot 10^{-4}$	$-1.521 \cdot 10^{-3}$
8	0.8	$-2.328 \cdot 10^{-4}$	$-7.318 \cdot 10^{-3}$	$-2.39 \cdot 10^{-4}$	$-1.029 \cdot 10^{-3}$
9	0.9	$-2.439 \cdot 10^{-4}$	$6.966 \cdot 10^{-3}$	$-2.978 \cdot 10^{-4}$	$5.05 \cdot 10^{-5}$
10	1	$-2.071 \cdot 10^{-4}$	$-6.155 \cdot 10^{-3}$	$-2.611 \cdot 10^{-4}$	$4.386 \cdot 10^{-4}$
11	1.1	$-1.217 \cdot 10^{-4}$	$7.706 \cdot 10^{-3}$	$-1.916 \cdot 10^{-4}$	$1.111 \cdot 10^{-3}$
12	1.2	$-3.606 \cdot 10^{-5}$	$-5.919 \cdot 10^{-3}$	$-7.631 \cdot 10^{-5}$	...

## LAMPIRAN B

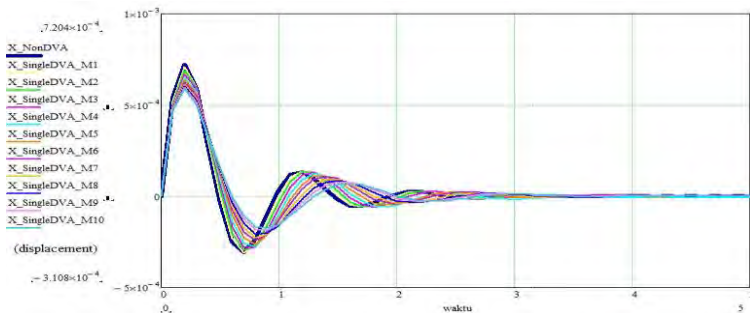
### VARIASI PARAMETER *SINGLE DYNAMIC VIBRATION* *ABSORBER (SINGLE DVA)*

#### B.1 Variasi Massa ( $M_1$ ) pada Single DVA



Variasi pada area  $K1 = 17.500 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 3500 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Massa	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshoot	Presentase Min.Overshoot
1	78,385	$7,052 \times 10^{-4}$	$-3,088 \times 10^{-4}$	2,11	-0,32
2	156,769	$6,855 \times 10^{-4}$	$-2,949 \times 10^{-4}$	4,84	4,19
3	235,153	$6,672 \times 10^{-4}$	$-2,611 \times 10^{-4}$	7,38	15,17
4	313,538	$6,526 \times 10^{-4}$	$-2,56 \times 10^{-4}$	9,41	16,83
5	391,923	$6,408 \times 10^{-4}$	$-2,396 \times 10^{-4}$	11,05	22,16
6	470,307	$6,313 \times 10^{-4}$	$-2,193 \times 10^{-4}$	12,37	28,75
7	548,691	$6,235 \times 10^{-4}$	$-1,938 \times 10^{-4}$	13,45	37,04
8	627,076	$6,171 \times 10^{-4}$	$-1,722 \times 10^{-4}$	14,34	44,05
9	705,460	$6,117 \times 10^{-4}$	$-1,493 \times 10^{-4}$	15,09	51,49
10	783,845	$6,097 \times 10^{-4}$	$-1,421 \times 10^{-4}$	15,37	53,83

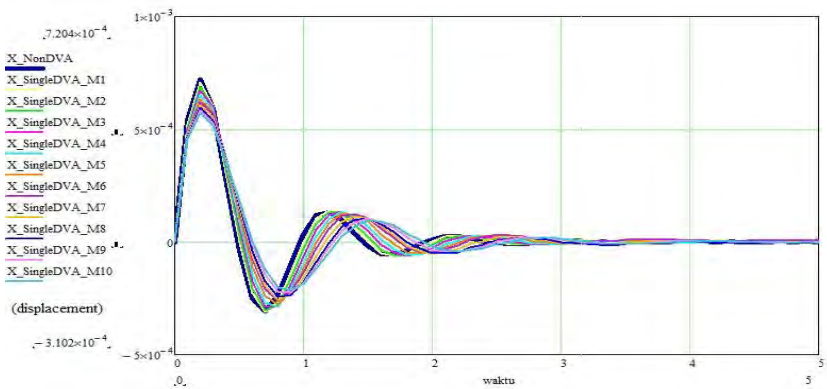




B-2

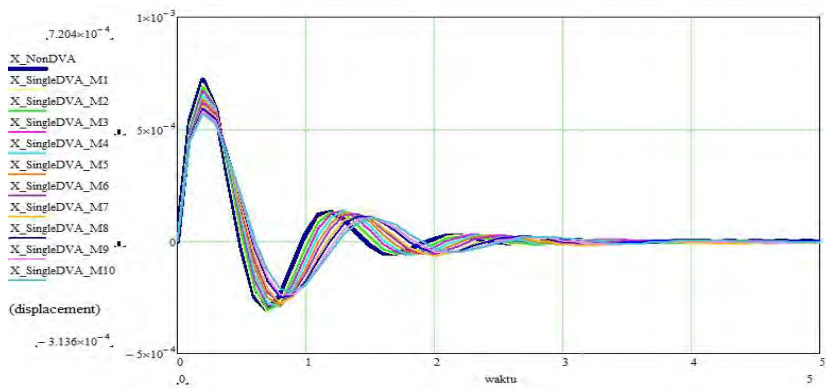
Variasi pada area  $K1 = 25.000 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 5000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	78,385	$7,075 \times 10^{-4}$	$-3,11 \times 10^{-4}$	1,79	-1,04
2	156,769	$6,873 \times 10^{-4}$	$-2,975 \times 10^{-4}$	4,59	3,35
3	235,153	$6,679 \times 10^{-4}$	$-2,818 \times 10^{-4}$	7,29	8,45
4	313,538	$6,505 \times 10^{-4}$	$-2,769 \times 10^{-4}$	9,70	10,04
5	391,923	$6,355 \times 10^{-4}$	$-2,649 \times 10^{-4}$	11,79	13,94
6	470,307	$6,235 \times 10^{-4}$	$-2,434 \times 10^{-4}$	13,45	20,92
7	548,691	$6,127 \times 10^{-4}$	$-2,295 \times 10^{-4}$	14,95	25,44
8	627,076	$6,034 \times 10^{-4}$	$-2,081 \times 10^{-4}$	16,24	32,39
9	705,460	$5,954 \times 10^{-4}$	$-1,855 \times 10^{-4}$	17,35	39,73
10	783,845	$5,885 \times 10^{-4}$	$-1,75 \times 10^{-4}$	18,31	43,14



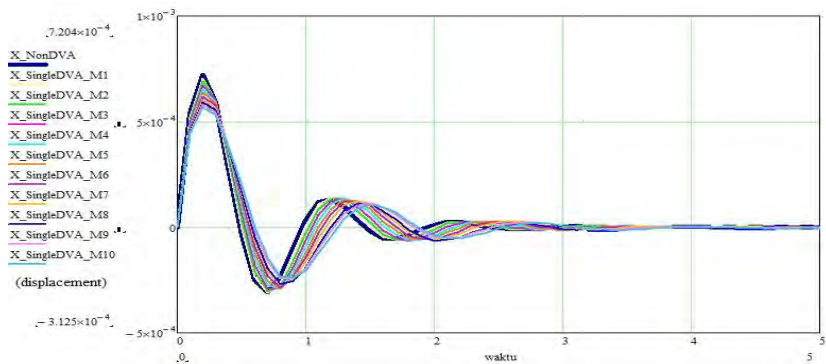
Variasi pada area  $K1 = 35.000 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 7000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	78,385	$7,09 \times 10^{-4}$	$-3,102 \times 10^{-4}$	1,58	-0,78
2	156,769	$6,887 \times 10^{-4}$	$-3,03 \times 10^{-4}$	4,40	1,56
3	235,153	$6,703 \times 10^{-4}$	$-2,886 \times 10^{-4}$	6,95	6,24
4	313,538	$6,512 \times 10^{-4}$	$-2,878 \times 10^{-4}$	9,61	6,50
5	391,923	$6,355 \times 10^{-4}$	$-2,649 \times 10^{-4}$	11,79	13,94
6	470,307	$6,235 \times 10^{-4}$	$-2,434 \times 10^{-4}$	13,45	20,92
7	548,691	$6,127 \times 10^{-4}$	$-2,295 \times 10^{-4}$	14,95	25,44
8	627,076	$6,034 \times 10^{-4}$	$-2,081 \times 10^{-4}$	16,24	32,39
9	705,460	$5,954 \times 10^{-4}$	$-1,855 \times 10^{-4}$	17,35	39,73
10	783,845	$5,885 \times 10^{-4}$	$-1,75 \times 10^{-4}$	18,31	43,14



Variasi pada area K1 = 45.000 N/m dan C1 = 9000 N s/m.

NO	Variasi Massa	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshoot	Presentase Min.Overshoot
1	78,385	$7,052 \times 10^{-4}$	$-3,125 \times 10^{-4}$	2,11	-1,53
2	156,769	$6,888 \times 10^{-4}$	$-3,05 \times 10^{-4}$	4,39	0,91
3	235,153	$6,721 \times 10^{-4}$	$-2,923 \times 10^{-4}$	6,70	5,04
4	313,538	$6,533 \times 10^{-4}$	$-2,935 \times 10^{-4}$	9,31	4,65
5	391,923	$6,36 \times 10^{-4}$	$-2,909 \times 10^{-4}$	11,72	5,49
6	470,307	$6,198 \times 10^{-4}$	$-2,835 \times 10^{-4}$	13,96	7,89
7	548,691	$6,049 \times 10^{-4}$	$-2,723 \times 10^{-4}$	16,03	11,53
8	627,076	$5,917 \times 10^{-4}$	$-2,694 \times 10^{-4}$	17,87	12,48
9	705,460	$5,795 \times 10^{-4}$	$-2,427 \times 10^{-4}$	19,56	21,15
10	783,845	$5,684 \times 10^{-4}$	$-2,41 \times 10^{-4}$	21,10	21,70



Variasi pada area K1 = 55.000 N/m dan C1 = 11000 N s/m.

NO	Variasi Massa	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	78,385	$7,109 \times 10^{-4}$	$-2,962 \times 10^{-4}$	1,32	3,77
2	156,769	$6,917 \times 10^{-4}$	$-3,062 \times 10^{-4}$	3,98	0,52
3	235,153	$6,729 \times 10^{-4}$	$-2,93 \times 10^{-4}$	6,59	4,81
4	313,538	$6,556 \times 10^{-4}$	$-2,973 \times 10^{-4}$	9,00	3,41
5	391,923	$6,379 \times 10^{-4}$	$-2,965 \times 10^{-4}$	11,45	3,67
6	470,307	$6,215 \times 10^{-4}$	$-2,913 \times 10^{-4}$	13,73	5,36
7	548,691	$6,061 \times 10^{-4}$	$-2,824 \times 10^{-4}$	15,87	8,25
8	627,076	$5,918 \times 10^{-4}$	$-2,706 \times 10^{-4}$	17,85	12,09
9	705,460	$5,785 \times 10^{-4}$	$-2,567 \times 10^{-4}$	19,70	16,60
10	783,845	$5,666 \times 10^{-4}$	$-2,604 \times 10^{-4}$	21,35	15,40

## B.2 Variasi Pegas ( $K_1$ ) pada Single DVA

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan C1 = 5000 N s/m.

NO	Variasi Pegas	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	10.000	$6,059 \times 10^{-4}$	$-1,824 \times 10^{-4}$	15,89	40,74
2	25.000	$5,885 \times 10^{-4}$	$-1,75 \times 10^{-4}$	18,31	43,14
3	50.000	$5,647 \times 10^{-4}$	$-2,369 \times 10^{-4}$	21,61	23,03
4	55.000	$5,499 \times 10^{-4}$	$-2,726 \times 10^{-4}$	23,67	11,44
5	60.000	$5,437 \times 10^{-4}$	$-2,809 \times 10^{-4}$	24,53	8,74
6	65.000	$5,423 \times 10^{-4}$	$-2,843 \times 10^{-4}$	24,72	7,63
7	70.000	$5,409 \times 10^{-4}$	$-2,86 \times 10^{-4}$	24,92	7,08
8	72.500	$5,396 \times 10^{-4}$	$-2,875 \times 10^{-4}$	25,10	6,60
9	75.000	$5,383 \times 10^{-4}$	$-2,907 \times 10^{-4}$	25,28	5,56
10	80.000	$5,37 \times 10^{-4}$	$-2,919 \times 10^{-4}$	25,46	5,17

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan C1 = 7500 N s/m.

NO	Variasi Pegas	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	10.000	$5,923 \times 10^{-4}$	$-2,126 \times 10^{-4}$	17,78	30,93
2	25.000	$5,806 \times 10^{-4}$	$-2,05 \times 10^{-4}$	19,41	33,40
3	50.000	$5,646 \times 10^{-4}$	$-2,379 \times 10^{-4}$	21,63	22,71
4	55.000	$5,546 \times 10^{-4}$	$-2,621 \times 10^{-4}$	23,01	14,85
5	60.000	$5,505 \times 10^{-4}$	$-2,713 \times 10^{-4}$	23,58	11,86
6	65.000	$5,495 \times 10^{-4}$	$-2,733 \times 10^{-4}$	23,72	11,21
7	70.000	$5,486 \times 10^{-4}$	$-2,751 \times 10^{-4}$	23,85	10,62
8	72.500	$5,477 \times 10^{-4}$	$-2,768 \times 10^{-4}$	23,97	10,07
9	75.000	$5,468 \times 10^{-4}$	$-2,785 \times 10^{-4}$	24,10	9,52
10	80.000	$5,46 \times 10^{-4}$	$-2,8 \times 10^{-4}$	24,21	9,03

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan C1 = 10000 N s/m.

NO	Variasi Pegas	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshoot	Presentase Min.Overshoot
1	10.000	$5,867 \times 10^{-4}$	$-2,327 \times 10^{-4}$	18,56	24,40
2	25.000	$5,785 \times 10^{-4}$	$-2,276 \times 10^{-4}$	19,70	26,06
3	50.000	$5,672 \times 10^{-4}$	$-2,454 \times 10^{-4}$	21,27	20,27
4	55.000	$5,602 \times 10^{-4}$	$-2,604 \times 10^{-4}$	22,24	15,40
5	60.000	$5,573 \times 10^{-4}$	$-2,676 \times 10^{-4}$	22,64	13,06
6	65.000	$5,566 \times 10^{-4}$	$-2,692 \times 10^{-4}$	22,74	12,54
7	70.000	$5,559 \times 10^{-4}$	$-2,708 \times 10^{-4}$	22,83	12,02
8	72.500	$5,553 \times 10^{-4}$	$-2,723 \times 10^{-4}$	22,92	11,53
9	75.000	$5,547 \times 10^{-4}$	$-2,738 \times 10^{-4}$	23,00	11,05
10	80.000	$5,541 \times 10^{-4}$	$-2,751 \times 10^{-4}$	23,08	10,62

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan C1 = 1500 N s/m.

NO	Variasi Pegas	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshoot	Presentase Min.Overshoot
1	10.000	$5,835 \times 10^{-4}$	$-2,556 \times 10^{-4}$	19,00	16,96
2	25.000	$5,79 \times 10^{-4}$	$-2,533 \times 10^{-4}$	19,63	17,71
3	50.000	$5,728 \times 10^{-4}$	$-2,551 \times 10^{-4}$	20,49	17,12
4	55.000	$5,688 \times 10^{-4}$	$-2,63 \times 10^{-4}$	21,04	14,55
5	60.000	$5,671 \times 10^{-4}$	$-2,673 \times 10^{-4}$	21,28	13,16
6	65.000	$5,667 \times 10^{-4}$	$-2,683 \times 10^{-4}$	21,34	12,83
7	70.000	$5,663 \times 10^{-4}$	$-2,693 \times 10^{-4}$	21,39	12,51
8	72.500	$5,66 \times 10^{-4}$	$-2,703 \times 10^{-4}$	21,43	12,18
9	75.000	$5,656 \times 10^{-4}$	$-2,713 \times 10^{-4}$	21,49	11,86
10	80.000	$5,653 \times 10^{-4}$	$-2,722 \times 10^{-4}$	21,53	11,57

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan C1 = 2500 N s/m.

NO	Variasi Pegas	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshoot	Presentase Min.Overshoot
1	10.000	$6,305 \times 10^{-4}$	$-1,363 \times 10^{-4}$	12,48	55,72
2	25.000	$6,033 \times 10^{-4}$	$-1,331 \times 10^{-4}$	16,25	56,76
3	50.000	$5,661 \times 10^{-4}$	$-2,619 \times 10^{-4}$	21,42	14,91
4	55.000	$5,429 \times 10^{-4}$	$-3,048 \times 10^{-4}$	24,64	0,97
5	60.000	$5,332 \times 10^{-4}$	$-3,077 \times 10^{-4}$	25,99	0,03
6	65.000	$5,31 \times 10^{-4}$	$-3,028 \times 10^{-4}$	26,29	1,62
7	70.000	$5,288 \times 10^{-4}$	$-3,028 \times 10^{-4}$	26,60	1,62
8	72.500	$5,267 \times 10^{-4}$	$-3,022 \times 10^{-4}$	26,89	1,82
9	75.000	$5,247 \times 10^{-4}$	$-3,045 \times 10^{-4}$	27,17	1,07
10	80.000	$5,227 \times 10^{-4}$	$-3,043 \times 10^{-4}$	27,44	1,14

**B.3 Variasi Damper ( $C_1$ ) pada Single DVA**

Variasi pada area  $M1 = 783.845 \text{ kg}$  dan  $K1 = 10000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$6,718 \times 10^{-4}$	$-1,852 \times 10^{-4}$	6,75	39,83
2	10%	$6,586 \times 10^{-4}$	$-1,531 \times 10^{-4}$	8,58	50,26
3	15%	$6,497 \times 10^{-4}$	$-1,465 \times 10^{-4}$	9,81	52,40
4	20%	$6,397 \times 10^{-4}$	$-1,421 \times 10^{-4}$	11,20	53,83
5	25%	$6,305 \times 10^{-4}$	$-1,363 \times 10^{-4}$	12,48	55,72

Variasi pada area  $M1 = 783.845 \text{ kg}$  dan  $K1 = 50000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,661 \times 10^{-4}$	-2,619	21,42
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,647 \times 10^{-4}$	-2,369	21,61
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,646 \times 10^{-4}$	-2,379	21,63
4	20%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,672 \times 10^{-4}$	-2,454	21,27
5	25%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,697 \times 10^{-4}$	-2,488	20,92

Variasi pada area  $M1 = 783.845 \text{ kg}$  dan  $K1 = 80000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,396 \times 10^{-4}$	-2,912	25,10
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,52 \times 10^{-4}$	-2,694	23,38
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,613 \times 10^{-4}$	-2,663	22,08
4	20%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,682 \times 10^{-4}$	-2,674	21,13
5	25%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,727 \times 10^{-4}$	-2,715	20,50

Variasi pada area  $M1 = 783.845 \text{ kg}$  dan  $K1 = 85000 \text{ N s/m}$ .

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,373 \times 10^{-4}$	-2,908	25,42
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,517 \times 10^{-4}$	-2,784	23,42
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,619 \times 10^{-4}$	-2,688	22,00
4	20%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,687 \times 10^{-4}$	-2,695	21,06
5	25%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,751 \times 10^{-4}$	-2,742	20,17

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan K1 = 90000 N s/m.

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,36 \times 10^{-4}$	-2,918	25,60
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,518 \times 10^{-4}$	-2,802	23,40
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,63 \times 10^{-4}$	-2,713	21,85
4	20%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,693 \times 10^{-4}$	-2,712	20,97
5	25%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,773 \times 10^{-4}$	-2,766	19,86

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan K1 = 100000 N s/m.

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,322 \times 10^{-4}$	-2,958	26,12
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,524 \times 10^{-4}$	-2,789	23,32
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,643 \times 10^{-4}$	-2,75	21,67
4	20%	$6,397 \times 10^{-4}$	$-1,421 \times 10^{-4}$	11,20	53,83
5	25%	$6,305 \times 10^{-4}$	$-1,363 \times 10^{-4}$	12,48	55,72

Variasi pada area M1 = 783.845 kg dan K1 = 110000 N s/m.

NO	Variasi Damper	MAX. Overshoot	MIN. Overshoot	Presentase Max.Overshgoot	Presentase Min.Overshoot
1	5%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,311 \times 10^{-4}$	-2,905	26,28
2	10%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,535 \times 10^{-4}$	-2,924	23,17
3	15%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,682 \times 10^{-4}$	-2,774	21,13
4	20%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,776 \times 10^{-4}$	-2,789	19,82
5	25%	$-3,078 \times 10^{-4}$	$5,842 \times 10^{-4}$	-2,84	18,91



*Halaman ini memang dikosongkan*

## LAMPIRAN C

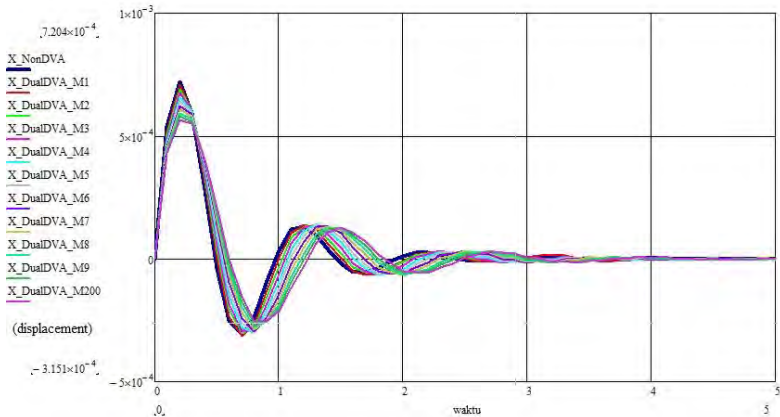
### VARIASI PARAMETER *DUAL DYNAMIC VIBRATION* *ABSORBER (DUAL DVA)*

#### C.1 Variasi Massa ( $M_{21}, M_{22}$ ) pada Dual DVA

Variasi pada area  $K1 = 17.500 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 3500 \text{ N.s/m}$  dari Sistem Single DVA

•  $K21 = 5000 \text{ N/m}$

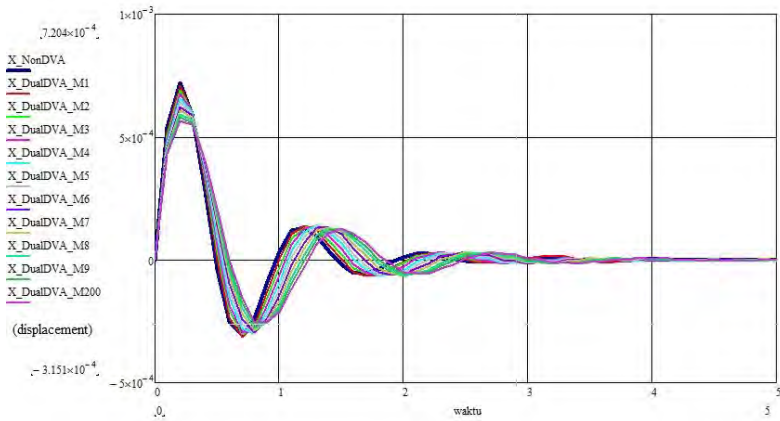
$K22 = 10.000 \text{ N/m}$



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.044 \times 10^{-4}$	$-3.119 \times 10^{-4}$	2.22	-1.33
2	78,384	$6.857 \times 10^{-4}$	$-2.891 \times 10^{-4}$	4.82	6.08
3	117,577	$6.695 \times 10^{-4}$	$-2.617 \times 10^{-4}$	7.07	14.98
4	156,769	$6.564 \times 10^{-4}$	$-2.419 \times 10^{-4}$	8.88	21.41
5	195,961	$6.465 \times 10^{-4}$	$-2.228 \times 10^{-4}$	10.26	27.62
6	235,153	$6.386 \times 10^{-4}$	$-2.018 \times 10^{-4}$	11.35	34.44
7	274,346	$6.321 \times 10^{-4}$	$-1.85 \times 10^{-4}$	12.26	39.90
8	313,538	$6.268 \times 10^{-4}$	$-1.633 \times 10^{-4}$	12.99	46.95
9	352,730	$6.223 \times 10^{-4}$	$-1.485 \times 10^{-4}$	13.62	51.75
10	391,923	$6.185 \times 10^{-4}$	$-1.33 \times 10^{-4}$	14.14	56.79

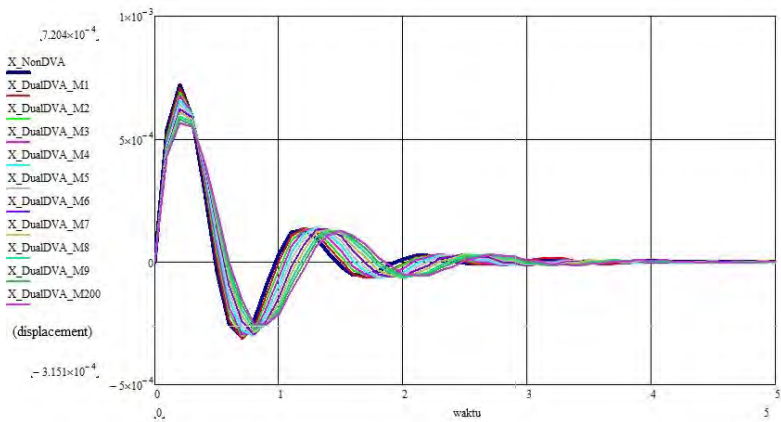
## C-2

- $K_{21} = 7500 \text{ N/m}$        $K_{22} = 10.000 \text{ N/m}$



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.05 \times 10^{-4}$	$-3.09 \times 10^{-4}$	2.14	-0.39
2	78,384	$6.856 \times 10^{-4}$	$-2.945 \times 10^{-4}$	4.83	4.32
3	117,577	$6.675 \times 10^{-4}$	$-2.719 \times 10^{-4}$	7.34	11.66
4	156,769	$6.592 \times 10^{-4}$	$-2.592 \times 10^{-4}$	8.50	15.79
5	195,961	$6.414 \times 10^{-4}$	$-2.386 \times 10^{-4}$	10.97	22.48
6	235,153	$6.319 \times 10^{-4}$	$-2.161 \times 10^{-4}$	12.28	29.79
7	274,346	$6.242 \times 10^{-4}$	$-1.96 \times 10^{-4}$	13.35	36.32
8	313,538	$6.178 \times 10^{-4}$	$-1.733 \times 10^{-4}$	14.24	43.70
9	352,730	$6.124 \times 10^{-4}$	$-1.529 \times 10^{-4}$	14.99	50.32
10	391,923	$6.078 \times 10^{-4}$	$-1.327 \times 10^{-4}$	15.63	56.89

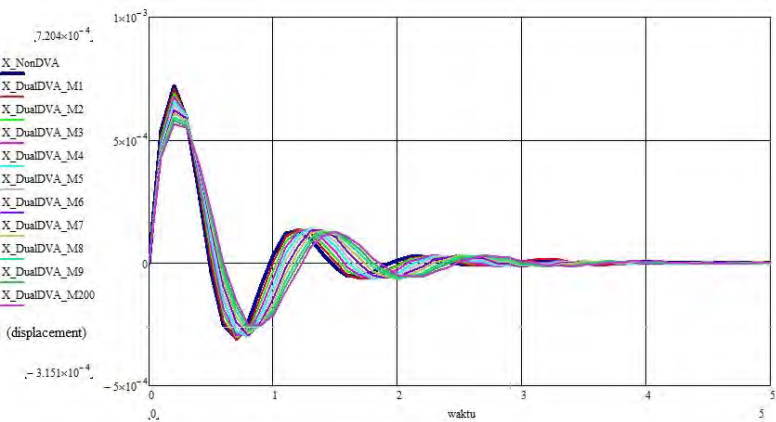
- K21 = 10.000 N/m                      K22 = 10.000 N/m



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.054 \times 10^{-4}$	$-3.098 \times 10^{-4}$	2.08	-0.65
2	78,384	$6.862 \times 10^{-4}$	$-2.971 \times 10^{-4}$	4.75	3.48
3	117,577	$6.672 \times 10^{-4}$	$-2.768 \times 10^{-4}$	7.38	10.07
4	156,769	$6.514 \times 10^{-4}$	$-2.662 \times 10^{-4}$	9.58	13.52
5	195,961	$6.383 \times 10^{-4}$	$-2.499 \times 10^{-4}$	11.40	18.81
6	235,153	$6.276 \times 10^{-4}$	$-2.299 \times 10^{-4}$	12.88	25.31
7	274,346	$6.187 \times 10^{-4}$	$-2.108 \times 10^{-4}$	14.12	31.51
8	313,538	$6.112 \times 10^{-4}$	$-1.862 \times 10^{-4}$	15.16	39.51
9	352,730	$6.049 \times 10^{-4}$	$-1.646 \times 10^{-4}$	16.03	46.52
10	391,923	$5.995 \times 10^{-4}$	$-1.424 \times 10^{-4}$	16.78	53.74

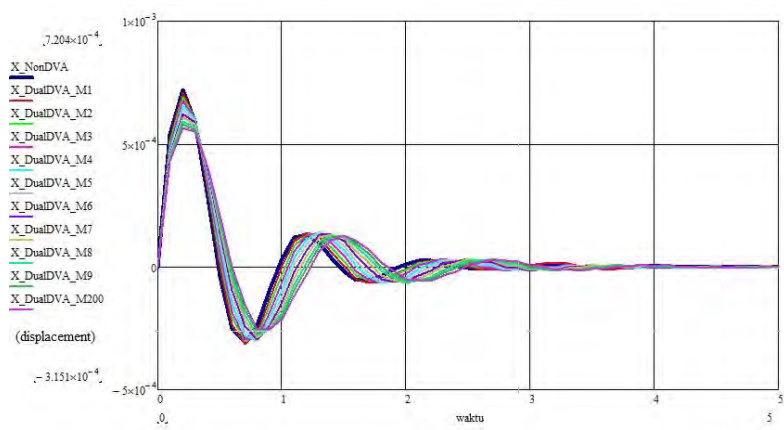
Variasi pada area  $K1 = 25.000 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 5000 \text{ N.s/m}$  dari Sistem Single DVA

- $K21 = 15.000 \text{ N/m}$                        $K22 = 12.500 \text{ N/m}$



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.076 \times 10^{-4}$	$-3.11 \times 10^{-4}$	1.78	-1.04
2	78,384	$6.878 \times 10^{-4}$	$-3.008 \times 10^{-4}$	4.53	2.27
3	117,577	$6.686 \times 10^{-4}$	$-2.839 \times 10^{-4}$	7.19	7.76
4	156,769	$6.508 \times 10^{-4}$	$-2.802 \times 10^{-4}$	9.66	8.97
5	195,961	$6.352 \times 10^{-4}$	$-2.787 \times 10^{-4}$	11.83	9.45
6	235,153	$6.217 \times 10^{-4}$	$-2.548 \times 10^{-4}$	13.70	17.22
7	274,346	$6.108 \times 10^{-4}$	$-2.426 \times 10^{-4}$	15.21	21.18
8	313,538	$6.008 \times 10^{-4}$	$-2.177 \times 10^{-4}$	16.60	29.27
9	352,730	$5.922 \times 10^{-4}$	$-1.986 \times 10^{-4}$	17.80	35.48
10	391,923	$5.845 \times 10^{-4}$	$-1.836 \times 10^{-4}$	18.86	40.35

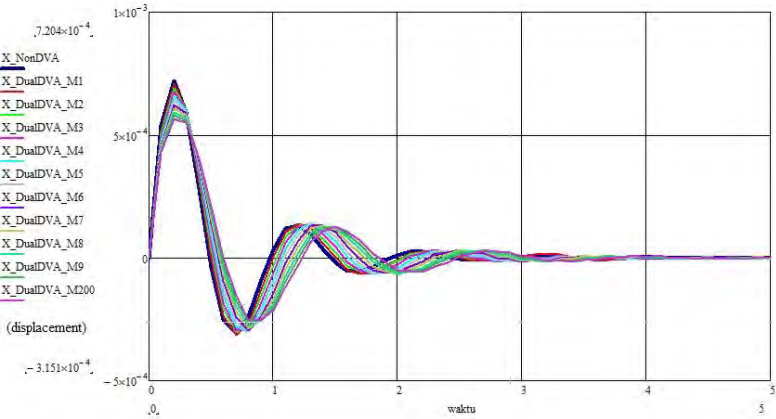
- K21 = 15.000 N/m                      K22 = 10.000 N/m



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	7.074 x10 <sup>-4</sup>	-3.1 x10 <sup>-4</sup>	1.80	-0.71
2	78,384	6.872 x10 <sup>-4</sup>	-2.993 x10 <sup>-4</sup>	4.61	2.76
3	117,577	6.682 x10 <sup>-4</sup>	-2.81 x10 <sup>-4</sup>	7.25	8.71
4	156,769	6.512 x10 <sup>-4</sup>	-2.755 x10 <sup>-4</sup>	9.61	10.49
5	195,961	6.365 x10 <sup>-4</sup>	-2.628 x10 <sup>-4</sup>	11.65	14.62
6	235,153	6.24 x10 <sup>-4</sup>	-2.452 x10 <sup>-4</sup>	13.38	20.34
7	274,346	6.141 x10 <sup>-4</sup>	-2.214 x10 <sup>-4</sup>	14.76	28.07
8	313,538	6.049 x10 <sup>-4</sup>	-2.067 x10 <sup>-4</sup>	16.03	32.85
9	352,730	5.97 x10 <sup>-4</sup>	-1.862 x10 <sup>-4</sup>	17.13	39.51
10	391,923	5.901 x10 <sup>-4</sup>	-1.685 x10 <sup>-4</sup>	18.09	45.26



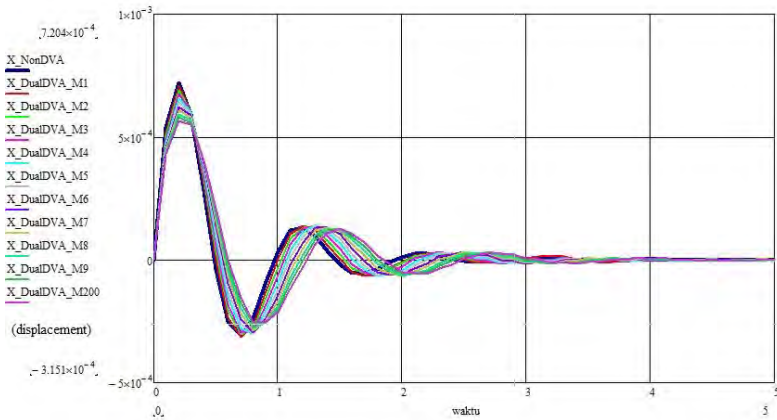
- K21 = 15.000 N/m                      K22 = 7500 N/m



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	7.07 x10 <sup>-4</sup>	-3.103 x10 <sup>-4</sup>	1.86	-0.81
2	78,384	6.867 x10 <sup>-4</sup>	-2.966 x10 <sup>-4</sup>	4.68	3.64
3	117,577	6.686 x10 <sup>-4</sup>	-2.755 x10 <sup>-4</sup>	7.19	10.49
4	156,769	6.528 x10 <sup>-4</sup>	-2.655 x10 <sup>-4</sup>	9.38	13.74
5	195,961	6.395 x10 <sup>-4</sup>	-2.522 x10 <sup>-4</sup>	11.23	18.06
6	235,153	6.307 x10 <sup>-4</sup>	-2.271 x10 <sup>-4</sup>	12.45	26.22
7	274,346	6.189 x10 <sup>-4</sup>	-2.086 x10 <sup>-4</sup>	14.09	32.23
8	313,538	6.107 x10 <sup>-4</sup>	-1.948 x10 <sup>-4</sup>	15.23	36.71
9	352,730	6.036 x10 <sup>-4</sup>	-1.772 x10 <sup>-4</sup>	16.21	42.43
10	391,923	5.975 x10 <sup>-4</sup>	-1.57 x10 <sup>-4</sup>	17.06	48.99

Variasi pada area  $K1 = 50.000 \text{ N/m}$  dan  $C1 = 10.000 \text{ N.s/m}$  dari Sistem Single DVA

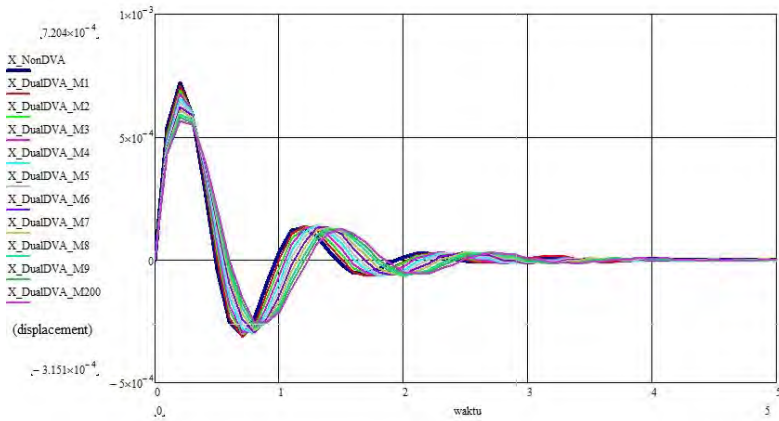
- $K21 = 25.000 \text{ N/m}$        $K22 = 23.500 \text{ N/m}$



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.041 \times 10^{-4}$	$-3.29 \times 10^{-4}$	2.26	-6.89
2	78,384	$6.913 \times 10^{-4}$	$-3.054 \times 10^{-4}$	4.04	0.78
3	117,577	$6.725 \times 10^{-4}$	$-2.93 \times 10^{-4}$	6.65	4.81
4	156,769	$6.546 \times 10^{-4}$	$-2.95 \times 10^{-4}$	9.13	4.16
5	195,961	$6.367 \times 10^{-4}$	$-2.931 \times 10^{-4}$	11.62	4.78
6	235,153	$6.204 \times 10^{-4}$	$-2.866 \times 10^{-4}$	13.88	6.89
7	274,346	$6.051 \times 10^{-4}$	$-2.804 \times 10^{-4}$	16.00	8.90
8	313,538	$5.914 \times 10^{-4}$	$-2.631 \times 10^{-4}$	17.91	14.52
9	352,730	$5.79 \times 10^{-4}$	$-2.592 \times 10^{-4}$	19.63	15.79
10	391,923	$5.676 \times 10^{-4}$	$-2.421 \times 10^{-4}$	21.21	21.35

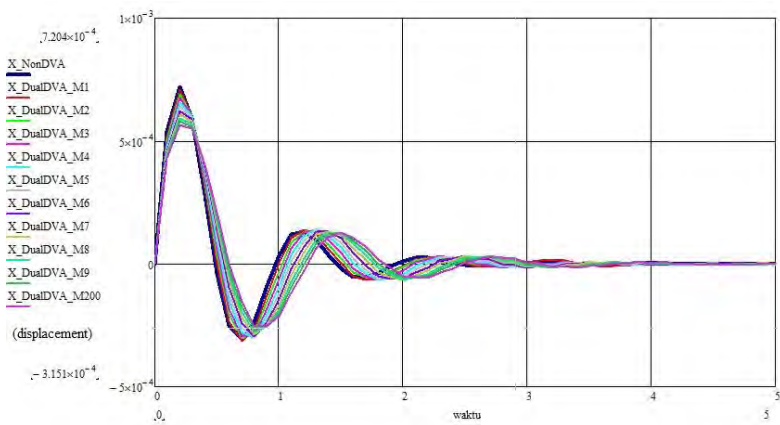
## C-8

- $K21 = 25.000 \text{ N/m}$        $K22 = 25.000 \text{ N/m}$



NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	$7.047 \times 10^{-4}$	$-3.088 \times 10^{-4}$	2.18	-0.32
2	78,384	$6.914 \times 10^{-4}$	$-3.054 \times 10^{-4}$	4.03	0.78
3	117,577	$6.725 \times 10^{-4}$	$-2.934 \times 10^{-4}$	6.65	4.68
4	156,769	$6.549 \times 10^{-4}$	$-2.955 \times 10^{-4}$	9.09	4.00
5	195,961	$6.37 \times 10^{-4}$	$-2.94 \times 10^{-4}$	11.58	4.48
6	235,153	$6.206 \times 10^{-4}$	$-2.878 \times 10^{-4}$	13.85	6.50
7	274,346	$6.052 \times 10^{-4}$	$-2.82 \times 10^{-4}$	15.99	8.38
8	313,538	$5.914 \times 10^{-4}$	$-2.651 \times 10^{-4}$	17.91	13.87
9	352,730	$5.789 \times 10^{-4}$	$-2.615 \times 10^{-4}$	19.64	15.04
10	391,923	$5.67 \times 10^{-4}$	$-2.454 \times 10^{-4}$	21.27	20.27

- K21 = 25.000 N/m                      K22 = 27.500 N/m

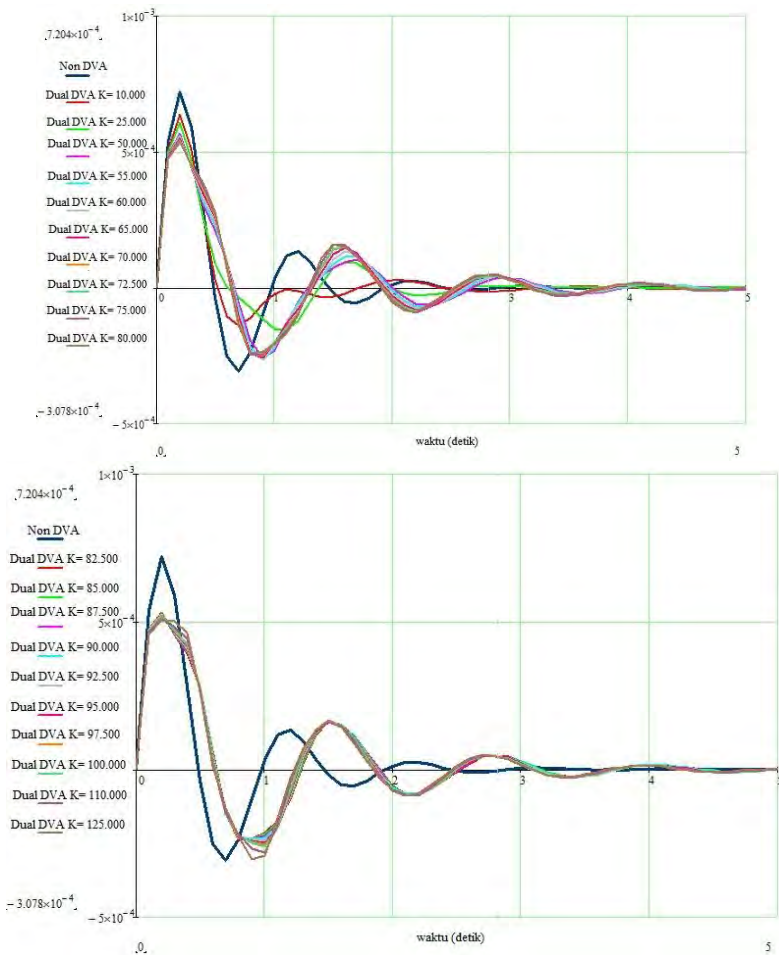


NO.	Variasi Massa	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	39,192	7.108 x10 <sup>-4</sup>	-2.96 x10 <sup>-4</sup>	1.33	3.83
2	78,384	6.916 x10 <sup>-4</sup>	-3.054 x10 <sup>-4</sup>	4.00	0.78
3	117,577	6.726 x10 <sup>-4</sup>	-2.925 x10 <sup>-4</sup>	6.64	4.97
4	156,769	6.551 x10 <sup>-4</sup>	-2.964 x10 <sup>-4</sup>	9.06	3.70
5	195,961	6.375 x10 <sup>-4</sup>	-2.952 x10 <sup>-4</sup>	11.51	4.09
6	235,153	6.211 x10 <sup>-4</sup>	-2.896 x10 <sup>-4</sup>	13.78	5.91
7	274,346	6.058 x10 <sup>-4</sup>	-2.802 x10 <sup>-4</sup>	15.91	8.97
8	313,538	5.916 x10 <sup>-4</sup>	-2.679 x10 <sup>-4</sup>	17.88	12.96
9	352,730	5.786 x10 <sup>-4</sup>	-2.534 x10 <sup>-4</sup>	19.68	17.67
10	391,923	5.669 x10 <sup>-4</sup>	-2.573 x10 <sup>-4</sup>	21.31	16.41

## C.2 Variasi Pegas Kombinasi 1 pada Dual DVA

Variasi pada area M21,M22= 391,923 N/m dan C1 = 2500 N.s/m dari Sistem Single DVA

- C21 = 1250 N.s/m                      K22 = 750 N.s/m



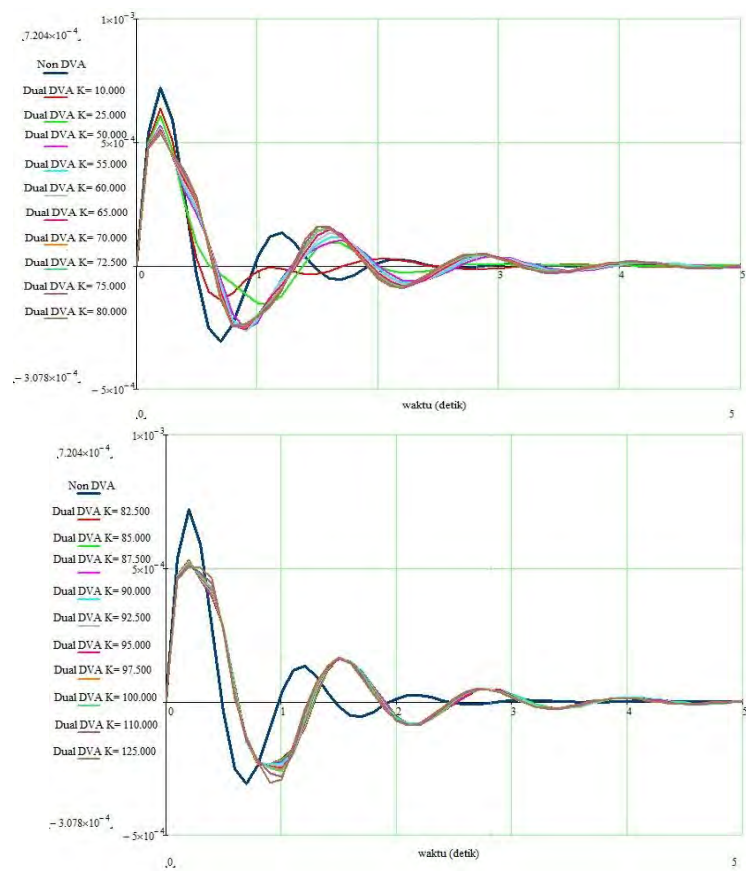
NO.	Variasi Pegas	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	10.000	$6.198 \times 10^{-4}$	-9.84E-01	13.96	68.04
2	25.000	$5.692 \times 10^{-4}$	$-2.836 \times 10^{-4}$	20.99	7.86
3	50.000	$5.151 \times 10^{-4}$	$-2.986 \times 10^{-4}$	28.50	2.99
4	55.000	$5.08 \times 10^{-4}$	$-2.885 \times 10^{-4}$	29.48	6.27
5	60.000	$5.025 \times 10^{-4}$	$-2.891 \times 10^{-4}$	30.25	6.08
6	65.000	$4.974 \times 10^{-4}$	$-2.915 \times 10^{-4}$	30.96	5.30
7	70.000	$5.045 \times 10^{-4}$	$-2.979 \times 10^{-4}$	29.97	3.22
8	72.500	$5.11 \times 10^{-4}$	$-3.017 \times 10^{-4}$	29.07	1.98
9	75.000	$5.161 \times 10^{-4}$	$-3.066 \times 10^{-4}$	28.36	0.39
10	80.000	$5.29 \times 10^{-4}$	$-3.147 \times 10^{-4}$	26.57	-2.24
11	82.500	$5.354 \times 10^{-4}$	$-3.18 \times 10^{-4}$	25.68	-3.31
12	85.000	$5.418 \times 10^{-4}$	$-3.221 \times 10^{-4}$	24.79	-4.65
13	87.500	$5.479 \times 10^{-4}$	$-3.222 \times 10^{-4}$	23.95	-4.68
14	90.000	$5.54 \times 10^{-4}$	$-3.217 \times 10^{-4}$	23.10	-4.52
15	92.500	$5.599 \times 10^{-4}$	$-3.233 \times 10^{-4}$	22.28	-5.04

•  $C_{21} = 1250 \text{ N.s/m}$

$K_{22} = 1250 \text{ N.s/m}$



C-12

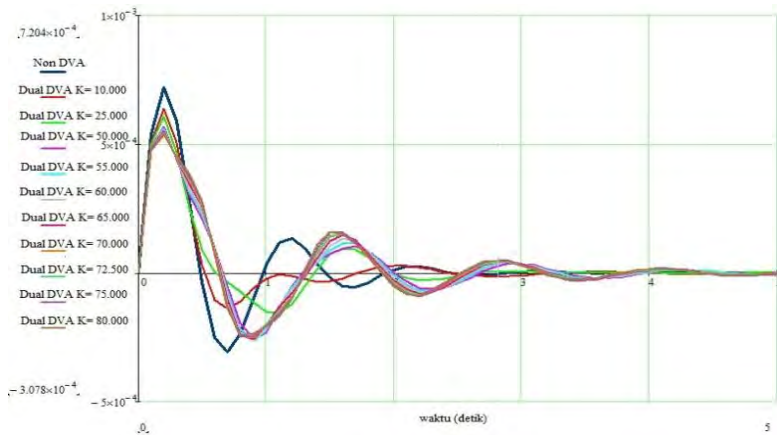


NO.	Variasi Pegas	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	10.000	$6.119 \times 10^{-4}$	$-0.9733 \times 10^{-4}$	15.06	68.38
2	25.000	$5.661 \times 10^{-4}$	$-2.619 \times 10^{-4}$	21.42	14.91
3	50.000	$5.173 \times 10^{-4}$	$-2.983 \times 10^{-4}$	28.19	3.09
4	55.000	$5.109 \times 10^{-4}$	$-2.926 \times 10^{-4}$	29.08	4.94

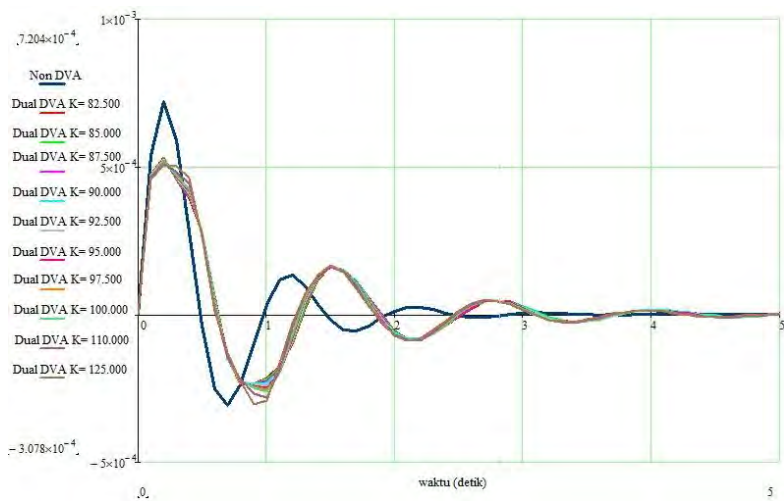
5	60.000	$5.055 \times 10^{-4}$	$-2.928 \times 10^{-4}$	29.83	4.87
6	65.000	$5.009 \times 10^{-4}$	$-2.951 \times 10^{-4}$	30.47	4.13
7	70.000	$5.117 \times 10^{-4}$	$-2.997 \times 10^{-4}$	28.97	2.63
8	72.500	$5.176 \times 10^{-4}$	$-3.028 \times 10^{-4}$	28.15	1.62
9	75.000	$5.238 \times 10^{-4}$	$-3.054 \times 10^{-4}$	27.29	0.78
10	80.000	$5.354 \times 10^{-4}$	$-3.119 \times 10^{-4}$	25.68	-1.33
11	82.500	$5.412 \times 10^{-4}$	$-3.123 \times 10^{-4}$	24.88	-1.46
12	85.000	$5.468 \times 10^{-4}$	$-3.148 \times 10^{-4}$	24.10	-2.27
13	87.500	$5.524 \times 10^{-4}$	$-3.181 \times 10^{-4}$	23.32	-3.35
14	90.000	$5.578 \times 10^{-4}$	$-3.155 \times 10^{-4}$	22.57	-2.50
15	92.500	$5.631 \times 10^{-4}$	$-3.171 \times 10^{-4}$	21.84	-3.02

• C21 = 1250 N.s/m

K22 = 2250 N.s/m



C-14



NO.	Variasi Pegas	Max. Overshoot	Min. Overshoot	Persentase Max. Overshoot	Persentase Min. Overshoot
1	10.000	$6.047 \times 10^{-4}$	$-1.258 \times 10^{-4}$	16.06	59.13
2	25.000	$5.66 \times 10^{-4}$	$-2.459 \times 10^{-4}$	21.43	20.11
3	50.000	$5.248 \times 10^{-4}$	$-2.982 \times 10^{-4}$	27.15	3.12
4	55.000	$5.194 \times 10^{-4}$	$-2.982 \times 10^{-4}$	27.90	3.12
5	60.000	$5.149 \times 10^{-4}$	$-2.966 \times 10^{-4}$	28.53	3.64
6	65.000	$5.124 \times 10^{-4}$	$-2.97 \times 10^{-4}$	28.87	3.51
7	70.000	$5.22 \times 10^{-4}$	$-2.993 \times 10^{-4}$	27.54	2.76
8	72.500	$5.268 \times 10^{-4}$	$-3.008 \times 10^{-4}$	26.87	2.27
9	75.000	$5.316 \times 10^{-4}$	$-3.024 \times 10^{-4}$	26.21	1.75
10	80.000	$5.413 \times 10^{-4}$	$-3.058 \times 10^{-4}$	24.86	0.65
11	82.500	$5.46 \times 10^{-4}$	$-3.066 \times 10^{-4}$	24.21	0.39
12	85.000	$5.507 \times 10^{-4}$	$-3.08 \times 10^{-4}$	23.56	-0.06
13	87.500	$5.553 \times 10^{-4}$	$-3.092 \times 10^{-4}$	22.92	-0.45
14	90.000	$5.598 \times 10^{-4}$	$-3.101 \times 10^{-4}$	22.29	-0.75
15	92.500	$5.642 \times 10^{-4}$	$-3.155 \times 10^{-4}$	21.68	-2.50

## DAFTAR PUSTAKA

- Bonsel, J.H. 2003. "*Application of A Dynamic Vibration Absorber to Piecewise Linear Beam System*". Eindhoven University of Technology, Departement of Mechanical Engineering.
- Fitri, Yudhikarisma. 2013. "*Simulasi Peredaman Getaran Mesin Rotasi Menggunakan Dynamic Vibration Absorber (DVA)*". Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Holdhusen, Mark Horner. 2005. "*The State-Switched Absorber Used for Vibration Control of Continous Systems*". Georgia Institute of Technology, Mechanical Engineering.
- JR., Maurice L. Adams. 2001. "*Rotating Machinery Vibration: from Analysis to Troubleshooting*". Basel, Switzerland : Marcel Dekker.
- Ogata, Katsuhiko. 2004. "*System Dynamics, 4<sup>th</sup> edition*". Upper Saddle River, Nj : Prentice Hall.
- O'Neill M., Arya S., Pincus G. 1979. "*Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*". Gulf Publishing Company Book Division. Houston, Texas.
- Seto, William. 1997. "*Teori dan Soal-Soal Getaran Mekanis*". Erlangga, Jakarta.
- Sun, H.L., 2007. "*Application of Dynamic Vibration Absorbers in Structural Vibration Control Under Multi-Frequency Harmonic Excitations*". University of Science and Technology of China, Departement of Modern Mechanics.
- S. Rao, Singiresu. 1995. "*Mechanical Vibrations, 3<sup>th</sup> edition*". Wesley Publishing Company : Addison.
- Ting-Kong, Christoper. 1999. "*Design Of An Adaptive Dynamic Vibration Absorber*". The University Of Adelaide, Department of Mechanical Engineering., South Australia.
- V.J, Aimikhe and Akpabio, E.J. 2013. "*Comparing The Lateral Behaviour of A Boil off Gas Compressor with Dry and Wet Seals*". University of Port Harcourt, Nigeria and University of Uyo, Nigeria.

- Wibowo, Afdian Eko. 2011. "*Perencanaan Pondasi Mesin Generator Set Pada Pabrik NPK Super PT. Pupuk Kaltim Bontang Dengan Perhatian Khusus Pada Pengaruh Karet Peredam Getaran*". Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Wu, Shang-Teh. 2012. "*Auto-Tuning of A Two-Degree-of-Freedom Rotational Pendulum Absorber*". National Yunlin University of Science and Technology : Douliu-Taiwan, Departement of Mechanical Engineering.